

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**“ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE  
*Schizolobium amazonicum* DE ONCE AÑOS ASOCIADA CON CACAO EN  
SAN MARTÍN, PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL**

**MILAGROS RAQUEL RIVERA CANALES**

**LIMA-PERÚ**

**2023**

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

## Tesis

### INFORME DE ORIGINALIDAD

|                                   |                                   |                            |                                      |
|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| <b>12%</b><br>INDICE DE SIMILITUD | <b>11%</b><br>FUENTES DE INTERNET | <b>3%</b><br>PUBLICACIONES | <b>3%</b><br>TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |
|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|

### FUENTES PRIMARIAS

|          |  |               |
|----------|--|---------------|
| <b>1</b> | <b>doku.pub</b><br>Fuente de Internet  | <b>1%</b>     |
| <b>2</b> | <b>Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru</b><br>Trabajo del estudiante | <b>&lt;1%</b> |
| <b>3</b> | <b>sedici.unlp.edu.ar</b><br>Fuente de Internet  | <b>&lt;1%</b> |
| <b>4</b> | <b>revistas.unlp.edu.ar</b><br>Fuente de Internet                                      | <b>&lt;1%</b> |
| <b>5</b> | <b>revistas.lamolina.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                                  | <b>&lt;1%</b> |
| <b>6</b> | <b>studylib.es</b><br>Fuente de Internet   | <b>&lt;1%</b> |
| <b>7</b> | <b>www.cadex.org</b><br>Fuente de Internet   | <b>&lt;1%</b> |
| <b>8</b> | <b>www.redalyc.org</b><br>Fuente de Internet   | <b>&lt;1%</b> |
| <b>9</b> | <b>www.fao.org</b><br>Fuente de Internet   |               |

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**“ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE  
*Schizolobium amazonicum* DE ONCE AÑOS ASOCIADA CON  
CACAO EN SAN MARTÍN, PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL  
MILAGROS RAQUEL RIVERA CANALES**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

---

*Ing. Julio Cesar Canchucaja Rojas, Dr.  
Presidente*

---

*Ing. Miguel Ángel Meléndez Cárdenas, Dr.  
Miembro*

---

*Ing. Rolando Antonio Montenegro Muro, MSc  
Miembro*

---

*Ing. Manuel Chavesta Custodio, Dr.  
Asesor*

## **DEDICATORIA**

*A mi amada abuelita Coqui, por sus sabios consejos y por siempre creer en mí. Un beso al cielo.*

*A Claudia, Giorgio, Sebastián y Mauricio, por apoyarme, motivarme y darme tanto amor a lo largo de mi vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Expreso mi más sincero agradecimiento*

*A mi asesor Manuel Chavesta por su constante guía, apoyo y enseñanzas brindados a lo largo de la presente investigación.*

*Al profesor Rolando Montenegro por su ayuda en la parte estadística y consejos ofrecidos para la mejora de la tesis.*

*Agradecimiento especial al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) por brindarme la oportunidad de ser parte del proyecto Maderas 3 y por la proporción del material de ensayo e insumos.*

# ÍNDICE GENERAL

|        |   |    |
|--------|---|----|
| I.     | INTRODUCCIÓN.....   | 1  |
| II.    | REVISIÓN DE LITERATURA.....                               | 3  |
| 2.1.   | CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO.....             | 3  |
| 2.1.1. | Clasificación taxonómica.....                             | 3  |
| 2.1.2. | Descripción botánica.....                                 | 3  |
| 2.1.3. | Distribución y hábitat.....                               | 4  |
| 2.2.   | ANATOMÍA DE LA MADERA.....                                | 4  |
| 2.2.1. | Características anatómicas.....                           | 4  |
| 2.2.2. | Variación axial y radial de la madera.....                | 5  |
| 2.3.   | PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA.....                     | 6  |
| 2.3.1. | Contenido de humedad.....                                 | 6  |
| 2.3.2. | Densidad básica.....                                      | 7  |
| 2.3.3. | Cambios dimensionales.....                                | 8  |
| 2.4.   | RELACIÓN ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA..... | 10 |
| 2.5.   | ANTECEDENTES.....   | 11 |
| 2.5.1. | Anatomía.....   | 11 |
| 2.5.2. | Propiedades físicas.....                                  | 12 |
| 2.5.3. | Usos.....   | 13 |
| 2.6.   | AGROFORESTERÍA.....                                       | 13 |
| III.   | METODOLOGÍA.....  | 15 |
| 3.1.   | COLECCIÓN DE MUESTRAS.....                                | 15 |
| 3.2.   | PROCESAMIENTO DE TROZAS.....                              | 17 |
| 3.3.   | MATERIALES.....   | 17 |
| 3.4.   | EQUIPOS DE LABORATORIO.....                               | 18 |
| 3.4.1. | Anatomía.....   | 18 |
| 3.4.2. | Propiedades físicas.....                                  | 18 |
| 3.5.   | ESTUDIO ANATÓMICO.....                                    | 18 |
| 3.5.1. | Microtecnia.....  | 19 |
| 3.6.   | PROPIEDADES FÍSICAS.....                                  | 20 |
| 3.7.   | ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....                                 | 21 |
| 3.7.1. | Análisis descriptivo.....                                 | 21 |
| 3.7.2. | Análisis del comportamiento longitudinal y radial.....    | 21 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 3.7.3. | Análisis de supuestos.....                                       | 22 |
| IV.    | RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                      | 23 |
| 4.1.   | CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA.....                                   | 23 |
| 4.1.1. | Descripción de la madera de <i>Schizolobium amazonicum</i> ..... | 23 |
| 4.1.2. | Características macroscópicas.....                               | 23 |
| 4.1.3. | Características microscópicas.....                               | 24 |
| 4.2.   | VARIACIÓN ANATÓMICA.....   | 29 |
| 4.2.1. | Diámetro de poro.....  | 32 |
| 4.2.2. | Longitud de vasos.....   | 33 |
| 4.2.3. | Longitud de fibra.....   | 33 |
| 4.2.4. | Diámetro de fibra.....   | 35 |
| 4.2.5. | Espesor de pared.....  | 36 |
| 4.3.   | PROPIEDADES FÍSICAS.....   | 38 |
| 4.3.1. | Densidad básica.....   | 41 |
| 4.3.2. | Cambios dimensionales.....                                       | 41 |
| 4.3.3. | Coeficiente de anisotropía.....                                  | 41 |
| 4.4.   | CORRELACIÓN ANATOMÍA – PROPIEDADES FÍSICAS.....                  | 42 |
| 4.4.1. | Regresión lineal.....  | 43 |
| V.     | CONCLUSIONES.....  | 44 |
| VI.    | RECOMENDACIONES.....   | 45 |
| VII.   | BIBLIOGRAFÍA.....  | 46 |
| VIII.  | ANEXOS.....  | 55 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Clasificación de la madera según su densidad básica .....                          | 7  |
| Tabla 2: Clasificación de la madera según coeficiente anisotrópico.....                     | 10 |
| Tabla 3. Características organolépticas y macroscópicas de <i>S.amazonicum</i> .....        | 11 |
| Tabla 4: Propiedades físicas de <i>S. amazonicum</i> .....                                  | 12 |
| Tabla 5: Información de los árboles evaluados .....   | 16 |
| Tabla 6: Medidas de tendencia central y dispersión de las variables anatómicas .....        | 29 |
| Tabla 7: Comportamiento de las variables anatómicas .....                                   | 30 |
| Tabla 8: Estadísticos descriptivos de las propiedades físicas de <i>S. amazonicum</i> ..... | 39 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Distribución de albura-duramen y madera juvenil-adulta.....                    | 8  |
| Figura 2: Lugar de colección de muestras .....   | 15 |
| Figura 3: Sistema agroforestal <i>S. amazonicum</i> -cacao.....                          | 16 |
| Figura 4: Obtención de muestras para estudio anatómico y propiedades físicas .....       | 17 |
| Figura 5: Muestra de Xiloteca de <i>S. amazonicum</i> .....                              | 25 |
| Figura 6: Macroscopía de <i>S. amazonicum</i> .....                                      | 26 |
| Figura 7: Vista microscópica sección transversal <i>S. amazonicum</i> .....              | 27 |
| Figura 8: Vista microscópica sección tangencial <i>S. amazonicum</i> .....               | 27 |
| Figura 9: Vista microscópica sección radial <i>S. amazonicum</i> .....                   | 27 |
| Figura 10: Vista microscópica de elementos vasculares .....                              | 28 |
| Figura 11: Gráfico de cajas y bigotes de vasos y fibras según nivel axial y radial ..... | 31 |
| Figura 12: Variación axial y radial del diámetro de poro.....                            | 32 |
| Figura 13: Variación axial y radial de la longitud de vaso.....                          | 33 |
| Figura 14: Variación axial y radial de la longitud de fibra.....                         | 34 |
| Figura 15: Variación axial y radial del diámetro de fibra.....                           | 36 |
| Figura 16: Variación axial y radial del espesor de pared .....                           | 37 |
| Figura 17: Boxplot de propiedades físicas de <i>S. amazonicum</i> por nivel axial.....   | 40 |
| Figura 18: Correlación anatomía – Propiedades Físicas .....                              | 43 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |    |
|---|----|
| Anexo 1. Tabla promedios Anatomía.....                      | 63 |
| Anexo 2. Tabla promedios Propiedades físicas.....           | 65 |
| Anexo 3. Valores estadísticos por posición en el fuste..... | 66 |
| Anexo 4. Análisis estadístico – anatomía.....               | 67 |
| Anexo 5. Análisis estadístico - propiedades físicas.....    | 72 |
| Anexo 6. Análisis de correlación.....                       | 76 |
| Anexo 7. Análisis de regresión lineal simple.....           | 78 |

## RESUMEN

El presente estudio caracteriza la estructura anatómica y las propiedades físicas de la madera de *Schizolobium amazonicum* Ducke de 11 años, asociada con cacao, en un sistema agroforestal ubicado en la provincia de Lamas, departamento de San Martín, Perú. Se describe la variación anatómica en tres niveles axiales y radiales del fuste, y se determinan las propiedades físicas en los niveles axiales como base del conocimiento de su comportamiento tecnológico de la especie según su edad como una alternativa para la industria forestal. La madera es de color blanco, grano entrecruzado, textura media. Presenta porosidad difusa, poros solitarios y múltiples radiales, con diámetro tangencial de  $219\mu\text{m}$ , 2 poros/ $\text{mm}^2$  y de longitud de vasos de  $225\mu\text{m}$ . Presenta parénquima vasicéntrico y aliforme, radios homocelulares, fibras libriformes, no estratificadas, cortas de  $1291\mu\text{m}$  y espesor de pared de  $2,3\mu\text{m}$ .

Cerca de la médula se encontraron menores valores de diámetro de poro en los tres niveles del fuste, menores valores de longitud de fibra en la base y el centro del fuste y menores valores de espesor de pared en la base y el ápice. Cerca de la corteza se obtuvo un mayor valor de longitud de fibra y menor valor de diámetro de fibra en la zona basal del fuste.

En las propiedades físicas la especie tiene una densidad básica de 0,32; contracción radial, tangencial y volumétrica totales de 2,55%, 5,84% y 8,19% respectivamente. Axialmente no se encontraron diferencias significativas en las propiedades físicas en los tres niveles axiales evaluados.

**PALABRAS CLAVE:** *Schizolobium amazonicum*, anatomía de la madera, propiedades físicas de la madera, variación axial y radial.

## ABSTRACT

This study characterizes the anatomical structure and physical properties of 11-year-old *Schizolobium amazonicum* Ducke (pashaco) wood associated with cacao in an agroforestry system located in the province of Lamas, department of San Martín, Peru. The anatomical variation in three axial levels and three radial levels of the shaft, and the physical properties in the axial levels were described as a basis for the knowledge of its technological behavior of the species according to its age as an alternative for the forestry industry.

The studied Wood presented white color, cross-grain, medium texture, medium gloss and satin veining. Diffuse porosity, solitary and multiple radial pores, with large tangential diameter (219 $\mu\text{m}$ ), 2 pores/ $\text{mm}^2$  and 225 $\mu\text{m}$  length, classified as small. It has vasicentric and aliform parenchyma, homocellular rays, libriform fibers, non-stratified, short (1291 $\mu\text{m}$ ), diameter of 37 $\mu\text{m}$ , wall thickness of 2.3 $\mu\text{m}$ . Near the pith, lower values of pore diameter were found at the three levels of the stem, lower values of fiber length at the base and center of the stem, and lower values of wall thickness at the base and apex. Near the bark, a higher value of fiber length and a lower value of fiber diameter were obtained in the basal zone of the stem.

No significant differences were found in the physical properties at the three axial levels studied. The species presented radial shrinkage (CR) of 2.55%, tangential shrinkage (CT) of 5.84%, volumetric shrinkage (CV) of 8.19%, T/R of 2.4 and basic density (DB) of 0.32.

**KEYWORDS:** *Schizolobium amazonicum*, wood anatomy, wood physical properties, axial and radial variation.

## I. INTRODUCCIÓN

En el año 2020, las exportaciones peruanas de madera presentaron una reducción del 24% respecto al año 2019. Además, entre los años 2016 a 2020, éstas mostraron un decrecimiento promedio anual del 7,1%, ocasionado por la tala ilegal, malas prácticas de manejo y la coyuntura sanitaria mundial por la COVID-19 (Chávez, 2021). Actualmente en el Perú, aún se aprovecha madera principalmente de bosque natural; la cual, debido a la heterogeneidad y agotamiento de especies comerciales genera desabastecimiento a las industrias (Chavesta, 2019).

Ello ha motivado a que el estado peruano y el sector privado hayan apostado por las plantaciones forestales como uno de los nuevos motores de la economía, desarrollo social y lucha frente al cambio climático (Guariguata et al., 2017). El Reglamento para la Gestión de las Plantaciones Forestales y los Sistemas Agroforestales (DS N° 020-2015–MINAGRI) busca fomentar la inversión privada para plantaciones forestales o sistemas agroforestales en zonas de recuperación con fines maderables con especies nativas o exóticas, en tierras de dominio público (FAO & ITP, 2018).

Existen especies nativas peruanas, como *Schizolobium amazonicum*, que son potenciales para su aprovechamiento en turnos cortos para su utilización en industrias de tableros contrachapados, aglomerados, pulpa y papel, cajonería, divisiones de interiores, molduras, etc.; sin embargo, no se conocen sus características anatómicas y propiedades físico mecánicas a diferentes edades de crecimiento, de importancia para conocer su desarrollo y calidad de madera. En Brasil, la madera proveniente de plantaciones de *S. amazonicum* se utiliza en tableros compensados, por su fuste recto, pocos defectos y baja densidad (Vidaurre, 2018). En el Perú, diversos proyectos han incentivado su uso. En el departamento de San Martín se ha reforestado en macizos y sistemas agroforestales con café y cacao; además, de la venta de carbono por parte de organizaciones y empresas privadas (SERFOR, 2021). Las características anatómicas de la madera son variables entre árboles de diferentes especies, de la misma especie y dentro de un mismo árbol. Su variabilidad afecta el comportamiento de la madera en uso y en

su procesamiento, lo que genera que se sobreestimen las cualidades de las maderas para ciertos usos y se subestimen para otros (León & Espinoza de Pernía, 1998). Es por ello que se han reportado diversos estudios al respecto de la variación de los elementos anatómicos en distintas especies y a diferentes edades, encontrando diversos patrones de variación (Medina et al., 2013). Igartúa & Monteoliva (2010) indican que, en latifoliadas de porosidad difusa, las principales causas de variación de la densidad entre árboles son genéticas y medioambientales, mientras que la variación dentro de un árbol con respecto a la morfología de las fibras, está relacionada con las diferentes edades formativas del leño.

En el presente estudio se caracteriza la estructura anatómica y propiedades físicas de la madera de *Schizolobium amazonicum* a nivel axial y radial del tronco; contribuyendo con la generación de información tecnológica de la especie buscando un posicionamiento a futuro en la industria maderera según las características de su madera.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

#### 2.1.1. Clasificación taxonómica

Según Flores (2019) la especie posee la siguiente clasificación taxonómica:

- Familia: Fabaceae.
- Nombre científico: *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke
- Nombres comunes: Pino chuncho, Pashaco.
- Sinónimos botánicos: *Schizolobium excelsum* Vogel var. *amazonicum* Ducke ex Williams; *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby

#### 2.1.2. Descripción botánica

Reynel et al. (2016) describen a la especie como un árbol de 30 a 20 cm de diámetro y 18-25 m de altura total de fuste cilíndrico, con ramificación en el tercer tercio y la base del fuste recta. La corteza externa es lisa a agrietada, color marrón rojizo a grisáceo con ritidoma en placas rectangulares a cuadrangulares pequeñas de 1,5-4 cm de ancho; corteza interna homogénea de color amarillo blanquecino, con olor a legumbre. Tiene hojas compuestas bipinnadas, alternas y dispuestas en espiral, raquis acanalado, hojas glabras o finamente pubescentes por el envés. Inflorescencias panículas, multifloras; flores de mediano tamaño, frutos alargados y planos, color marrón rojizo o marrón oscuro, la semilla única y alada.

### **2.1.3. Distribución y hábitat**

Justiniano et al. (2001) menciona que *Schizolobium* es un género restringido al neotrópico, que abarca desde el sur de México hasta el sureste del Brasil (en los estados de Río Grande do Sul y Paraná). Se extiende desde llanuras aluviales hasta estribaciones montañosas y es adaptable a distintas condiciones fisiográficas; prefiere suelos bien drenados pero tolera suelos con drenaje deficiente durante periodos cortos de tiempo. Según Reynel et al. (2003), en la Amazonía peruana, esta especie se desarrolla en su mayoría por debajo de los 1200 msnm; prefiere zonas de pluviosidad elevada y constante, aunque también zonas con una estación seca marcada. Prefiere suelos arenosos a limosos, de fertilidad media a alta, necesariamente bien drenados, con pedregosidad baja a media. Esta especie es muy sensible al anegamiento y no lo tolera, sobre todo cuando es una plántula. Especie con tendencia heliófita y de crecimiento rápido, presente en bosques secundarios tempranos y tardíos; se le encuentra en claros en el bosque primario (Reynel et al., 2003).

## **2.2. ANATOMÍA DE LA MADERA**

La Anatomía de Madera es la rama de la Biología que estudia el leño o madera con el fin de prever su comportamiento en procesos industriales y evaluar la aptitud tecnológica de la madera; además da apoyo a ramas como la silvicultura, tecnología, dasometría, (Gimenez et al., 2005) taxonomía, filogenia, ecología y dendrocronología. (León & Espinoza, 2001).

### **2.2.1. Características anatómicas**

#### **a) Macroscópicas**

Las características macroscópicas según León y Espinoza de Pernía (2001), son aquellas que se observan a simple vista o con el uso de lupas de 10X. Estas características se dividen en tres clases:

1. Características generales: Anillos de crecimiento; albura y duramen.
2. Características anatómicas: Vasos, parénquima, radios, conductos, floema incluido.
3. Características físicas: Color, olor, sabor, peso, dureza, textura, grano, lustre.



## **b) Microscópicas**

El estudio de la estructura anatómica microscópica, comprende los elementos que requieren del uso del microscopio para su observación. Estos son: tejido prosenquimático longitudinal: elementos vasculares, traqueidas vasculares y vasicéntricas, fibras; tejido parenquimático longitudinal: parénquima fusiforme, parénquima en serie, parénquima epitelial, tejido parenquimático transversal; tejido parenquimático radial: células radiales o erectas, células procumbentes; parénquima epitelial o conductos gomíferos transversales (Lluncor, 2012).

### **2.2.2. Variación axial y radial de la madera**

La madera, al ser un material heterogéneo, posee variaciones en su composición química, física y anatómica. Estas variaciones se dan entre especies y también dentro de la misma especie, dependiendo principalmente de factores de edad, genéticos y ambientales. Dentro de la misma especie existen variaciones a nivel axial y radial (médula-corteza) (Vidaurre et al., 2018).

Medina et al. (2013) mencionan que las características anatómicas dentro del fuste son más variables en la madera juvenil que en la madera madura más externa. La madera madura es más estable y homogénea y tiene propiedades relativamente constantes si la comparamos con la madera juvenil, en donde estas presentan cambios en dirección centrífuga.

Zobel y Van Buijtenen (1989) indican que, axialmente, el comportamiento general de la longitud de fibras es disminuir desde la base hacia el ápice o que se mantenga a lo largo del fuste. Al respecto, Giménez & López (2007) indican que en especies con notables diferencias entre el leño juvenil y leño maduro esto dependerá de la proporción del leño juvenil.

Sobre la variación radial, Zobel y Van Buijtenen (1989) mencionan que el patrón general es que las maderas duras tengan longitud de fibras más cortas en el centro y aumenten hacia la corteza, sin embargo, existen evidencias de que la variación puede ser inversa. También se ha demostrado que existen variaciones en otros componentes anatómicos como volumen de vasos y radios.

Los elementos del leño presentan distintos patrones de comportamiento, tanto en dirección longitudinal, como radial dentro del fuste. Según Panshin y De Zeeuw (1980), la variación axial presenta los siguientes patrones:

1. Incremento desde la base hacia el ápice.
2. Incremento hasta el primer tercio de la altura del fuste, luego disminución hacia el ápice.
3. Disminución desde la base hacia el ápice.

Según Cobas et al. (2014) la variación de las dimensiones se evidencia en los elementos que se modifican luego de la división del cambium, las cuales se alargan axialmente como la longitud de las fibras y vasos en latifoliadas.

Panshin y De Zeeuw (1980) señalan que, la longitud de fibra aumenta de médula a corteza durante un periodo de años, después de lo cual permanece constante. Sin embargo Cobas (2012) manifiesta que en latifoliadas este patrón no es uniforme, ya que este grupo posee una gama de posibilidades encontrada por diversos autores lo cual no permite generar un patrón de variación único que represente a dicho grupo de plantas tan diverso.

### **2.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA**

Londoño (2006) señala que las propiedades físicas dependen de los factores que determinan su organización estructural, los cuales son:

1. Cantidad de sustancia de la pared celular (madera) por unidad de muestra.
2. Cantidad de agua presente en la pared celular.
3. Proporción de los componentes primarios de la pared (celulosa, hemicelulosa y lignina) y cantidad y naturaleza de los extractivos.
4. Arreglo y orientación de los materiales en los diferentes tejidos.
5. Tipo, tamaño, proporción y arreglo de las células que forman el tejido maderable.

#### **2.3.1. Contenido de humedad**

Según Umerez (2015), la madera es un material higroscópico que presenta una notable afinidad por el agua y tiende a absorberla o perderla según las condiciones de humedad relativa y temperatura del aire; por ello, a cada estado ambiental le corresponde un grado de humedad de la madera, llamado humedad de equilibrio higroscópico (HEH). El mismo autor indica que el estudio del contenido de humedad es el más importante, ya que afecta todos los procesos de transformación de la madera.

El contenido de humedad se define como la cantidad de agua y sustancias volátiles contenidas en la madera, expresadas en porcentaje del peso seco de la misma pieza, secada en una estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  (Suirezs & Berger, 2009)

### 2.3.2. Densidad básica

Cisternas (1994) define la densidad básica de la madera como la cantidad de sustancia leñosa seca presente en un volumen dado de madera, cuando ésta se encuentra a un contenido de humedad igual o mayor al punto de saturación de las fibras (PSF). El mismo autor indica que, para la mayoría de las especies las paredes se encuentran saturadas cuando el contenido de humedad (CH) está en torno al 30%. El utilizar un volumen invariante permite hacer comparaciones de propiedades mecánicas sobre la base de una definición común de densidad. Esta propiedad es de carácter hereditario y evidencia del potencial para la selección de especies y mejora forestal. Dentro del manejo forestal es determinado por el tipo de práctica silvicultural a ser aplicada en función al producto final. Además indica la productividad del bosque en madera seca por hectárea (Shimoyama & Barrichelo, 1989). También, la densidad es fácilmente determinable y posee buena relación con otras propiedades, por ello es la más utilizada (Chavesta et al., 2019).

Según Sotomayor (2005), la madera se puede clasificar según su densidad (peso seco/volumen verde) conforme a la Tabla 1.

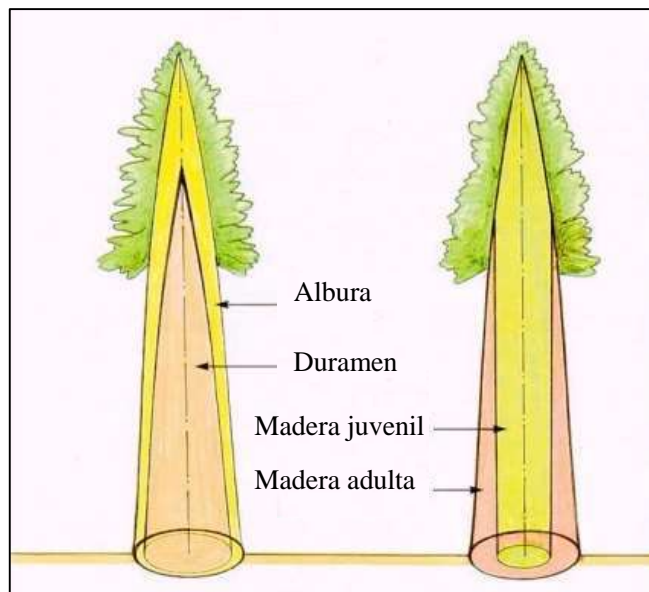
**Tabla 1: Clasificación de la madera según su densidad básica**

| Rango de densidad ( $\text{kg m}^{-3}$ ) | Clasificación |
|--|---------------|
| Menos de 200                             | Muy baja (MB) |
| De 201 a 400                             | Baja (B)      |
| De 401 a 600                             | Media (M)     |
| De 601 a 800                             | Alta (A)      |
| Más de 800                               | Muy alta (MA) |

La densidad es variable en los sentidos axial y radial de la madera de los árboles y entre árboles de una misma especie en función de las características anatómicas y de la composición química. No existe un patrón único para todas las especies. Existen tres modelos comunes de variación de la densidad del leño en el sentido base-ápice del tronco de los árboles, siendo (i)

decrecimiento uniforme, (ii) inferior en la base, seguido de crecimiento regular y (iii) aumento de la base a la parte apical del tronco, sin un patrón uniforme (Panshin y De Zeeuw, 1980).

Zobel & Van Buijtenen (1989) indican que la variación de la densidad con la altura está relacionada con la cantidad de madera juvenil que recorre al árbol axialmente como un cilindro interno desde la base hasta el ápice. Es así que las trozas de madera cerca de la copa, que presentan principalmente madera juvenil son de menor densidad, mientras que, en la base, se tiene madera madura con mayor densidad (Ver Figura 1).



**Figura 1: Distribución de albura-duramen y madera juvenil-adulta**

Fuente: Jozsa y Middleton (1997)

Con respecto a la variación radial, Monteoliva et al. (2002) indica que por lo general se encuentra madera juvenil en los primeros anillos cerca a la médula, que confiere una menor densidad y menor longitud de fibras. A diferencia de la madera madura que se encuentra distanciada de la médula, donde se espera encontrar una estabilización de la densidad, longitud de fibras y otras características.

### **2.3.3. Cambios dimensionales**

Según Spavento et al. (2008) el aumento de volumen, se genera por la inclusión de moléculas de agua en los espacios intermicelares de la pared celular por debajo del punto de saturación de

fibras (PSF). Por el contrario, la contracción se ocasiona por la eliminación de estas moléculas mediante procesos de difusión por debajo del PSF. Motivo por el cual las micelas se aproximan entre sí y ocasiona la reducción de las piezas de madera. Estas variaciones en volumen influyen en los procesos industriales de secado, impregnación y curvado de la madera, entre otros, como así también en su uso final.

La contracción o dilatación se expresa generalmente como porcentaje de las dimensiones en estado saturado (Santiago et al., 2013). La madera, al ser un material anisotrópico, posee cambios dimensionales en los distintos planos de corte (radial, tangencial y longitudinal). Según Arroyo (1983) en la mayoría de las especies, el valor de la contracción tangencial (CT) es aproximadamente el doble de la contracción radial (CR) y la contracción longitudinal es casi despreciable (de 0,1 a 0,2 %). Al respecto Díaz (2005) indica que este fenómeno se debe al efecto restrictivo de las células horizontales de los radios. Adicionalmente, la baja contracción longitudinal se debe a que los principales tejidos que constituyen la madera se encuentran en dirección vertical (ANANIAS, 1992), como lo son las fibras y los vasos en las latifoliadas (Baraño et al., 2008).

Ponce (1984) indica que, a mayor densidad, las contracciones tangencial y radial son mayores y la relación con la contracción longitudinal es inversa. Adicionalmente, Coronel (1994), argumenta que existe una relación directamente proporcional entre el aumento volumétrico y la densidad. Tamarit-Urias & Fuentes-Salinas (2003) en un estudio en maderas mexicanas, encontraron que al aumentar la densidad básica de la madera en un rango de 0,29 a 1,05 g/cm<sup>3</sup>, la contracción volumétrica total aumenta en un rango de variación del 7 al 19 %. Adicionalmente, Sotomayor & Ramírez (2014) indican que las contracciones tangencial y radial no correlacionan con la densidad básica.

El coeficiente de anisotropía expresa la relación entre el comportamiento tangencial y el radial. Cuanto mayor sea este coeficiente, tendrá mayores problemas como deformaciones y grietas (Igartúa et al., 2009). Calvo et al. (2006), al evaluar el coeficiente de anisotropía en seis alturas en *Eucaliptus grandis* en Argentina encontró que presenta un descenso de base a ápice, afirmando que las trozas superiores podrían tener un comportamiento más favorable que las trozas de la base, debido a la estabilización de dicho coeficiente.

Silva et al. (2010) clasifica la madera según su coeficiente anisotrópico (relación T/R) tal como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2: Clasificación de la madera según coeficiente anisotrópico**

| Grupo | Rango (T/R) | Clasificación |
|-------|-------------|---------------|
| I     | Menor a 1,7 | Muy buena     |
| II    | 1,7 a 2,1   | Buena         |
| III   | 2,1 a 2,5   | Regular       |
| IV    | Mayor a 2,5 | Mala          |

Según Panshin y Zeeuw (1970), la contracción de la madera varía con su posición en el árbol. Normalmente, las contracciones transversales son menores cerca de la médula (madera juvenil), creciendo rápidamente hacia la corteza, este cambio está relacionado con la rápida reducción del ángulo microfibrilar en la pared celular que se produce con el aumento de la longitud del contenido celular y de celulosa.

#### **2.4. RELACIÓN ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA**

Un buen indicador para evaluar las características tecnológicas de una madera es la densidad, característica integradora de la estructura de la especie, ya que refleja en parte la relación de tamaño y cantidad de vasos con la cantidad de fibras y sus dimensiones. (Sette Jr et al., 2012).

Según Londoño (2006) las fibras son de importancia para determinar la densidad en la madera en términos de cantidad y espacio que ocupan en una pieza de madera; así, cuando las fibras tienen paredes gruesas y lumen pequeño, los espacios vacíos serán relativamente pequeños y la densidad será alta; por el contrario, si las paredes son delgadas y el lumen amplio, la densidad será baja.

El mismo autor menciona que generalmente las maderas livianas, como *Ochroma lagopus*, cumplen con esta última condición, ya que presentan altas concentraciones de fibras de paredes delgadas y lúmenes amplios y un bajo volumen de vasos. Además, menciona que la baja densidad en la madera también puede deberse a la alta concentración de vasos.

La variación radial de las dimensiones de la fibra y la densidad básica muestra patrones distintos dependiendo de la especie estudiada. En la especie *Anadenanthera colubrina*, se obtuvo correlación positiva entre la posición radial y la longitud de las fibras y la densidad básica de la madera, donde la longitud de fibra y el espesor de pared aumentan de médula a corteza (Suckow et al., 2009).

## 2.5. ANTECEDENTES

### 2.5.1. Anatomía

En la Tabla 3 se presentan características organolépticas y macroscópicas de *S. amazonicum* según Romero (2010) y Lluncor (2012).

**Tabla 3. Características organolépticas y macroscópicas de *S. amazonicum***

| Características organolépticas |                         |  |
|--------------------------------|-------------------------|--|
|                                | Romero (2010)           | Lluncor (2012)                                   |
| Color                          | Crema                   | 10 YR 8/4 Very pale brown/ 2.5 Y 8/3 Pale yellow |
| Olor                           | No distintivo           | Sin olor   |
| Sabor                          | No distintivo           | Sin sabor  |
| Textura                        | Gruesa                  | Gruesa   |
| Veteado                        | Jaspeado                | Líneas verticales (plano radial)                 |
| Lustre                         | Alto                    | Sin brillo                                       |
| Grano                          | Entrecruzado            | De ligeramente entrecruzado a entrecruzado       |
| Características macroscópicas  |                         |  |
|                                | Romero (2010)           | Lluncor (2012)                                   |
| <b>Poros</b>                   |                         |  |
| Visibilidad                    | Visibles a simple vista |  |
| Forma                          | Ovalada                 | Redondos/ovalados                                |
| Agrupación                     | Solitarios y múltiples  | Simples/múltiples y hasta de tres                |
| Porosidad                      | Semicircular            | Difusa   |
| <b>Parénquima</b>              |                         |  |
| Visibilidad                    | Visibles a simple vista |  |
| Distribución                   | Vasicéntrico            | Aliforme/vasicéntrico en menor proporción        |
| <b>Radios</b>                  |                         |  |
| Visibilidad                    | Poco visibles           |  |
| Distribución                   | No estratificado        | No estratificados                                |
| <b>Anillos de crecimiento</b>  |                         |  |
| Visibilidad                    | Visibles a simple vista |  |
| Límite de anillos              | Bandas claras           |  |
| N°                             | 3 en 2,5 cm lineales    | 11 anillos en 5cm lineales                       |

Acevedo y Kikata (1994), mencionan que la madera de *Schizolobium amazonicum* de bosque natural, posee porosidad difusa, poros predominantemente solitarios de forma redonda y escasos múltiples radiales de dos a tres, con 1 a 3 poros/mm<sup>2</sup>; parénquima paratraqueal, vasicéntrico, no estratificado; radios homogéneos, multiseriados, no estratificados; diámetro tangencial de vasos de 144 a 210 μm, perforación simple, fibras libriformes, no estratificadas.

Silva (2004), en plantaciones de en *S. amazonicum* de 7 años, encontró poros con diámetro de 0,31 mm y 0,30 mm; diámetro de fibras de 26,52 μm y 26,93 μm; espesor de pared de 4,62 μm y 4,63 μm; en espaciamientos de 4x2m en espaciamientos de 4x3m respectivamente. Vidaurre (2010), en plantaciones de 5, 7, 9 y 11 años en Brasil, encontró que la madera de *S. amazonicum* posee en promedio fibras de 1,07 mm de longitud; 33,26 μm de ancho; 24,56 μm de diámetro; y 3,85 μm de espesor de pared.

### 2.5.2. Propiedades físicas

En la Tabla 4 se presentan las propiedades físicas de *S. amazonicum*; según diferentes autores.

**Tabla 4: Propiedades físicas de *S. amazonicum*.**

| Propiedades físicas                       |              | Romero (2010) <sup>1</sup> | Vidaurre (2010) <sup>2</sup> | Silva (2004) <sup>3</sup> |
|---|--------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Densidad básica (g/cm<sup>3</sup>)</b> |              | 0,35                       | 0,26-0,30                    | 0,29-0,31                 |
| <b>Contracción Totales (%)</b>            | Tangencial   | 3,91                       | 5,23                         | 4,50                      |
|   | Radial       | 3,06                       | 3,05                         | 2,30                      |
|   | Longitudinal | 0,41                       | 0,40                         | 0,35                      |
|   | Volumétrica  | 7,38                       | 9,32                         | 7,50                      |
| <b>Relación T/R</b>                       |              | 1,43                       | 1,95                         |                           |

Nota:

<sup>1</sup> Estación Experimental Agropecuaria de la Universidad Nacional del Centro del Perú Satipo.

<sup>2</sup> Brasil, valores promedios de plantaciones de 5, 7, 9 y 11 años, espaciamiento de 4mx4m.

<sup>3</sup> Brasil, valores promedio de plantación de 7 años con espaciamientos de 4mx2m y 4mx3m.

Asimismo, Colli (2007) reporta para la especie en estudio, una densidad básica promedio de 0,28 g/cm<sup>3</sup>, considerada como ligera. Encontró diferencias significativas en dirección radial. La madera cerca de la médula presentó densidad básica de 0,26 g/cm<sup>3</sup>, mientras que cerca de la corteza de 0,30 g/cm<sup>3</sup>.

Axialmente, las propiedades físicas de *S. amazonicum*, para una plantación de 11 años de edad, se encontró una variación decreciente de la densidad básica desde la base al ápice, clasificándola



como de baja densidad. Igual comportamiento presentaron las contracciones radiales, tangenciales y volumétricas (Filgueira et al., 2020).

Silva (2004), al evaluar madera de *S. amazonicum* con distanciamiento de 4 m x 3 m determinó contracción volumétrica en dirección axial de 7,11% (base), 7,34% (centro) y 7,63% (ápice) y en dirección radial de 6,47% (médula), 7,30% (intermedio) y 7,70% (corteza), sin diferencias significativas entre dichos niveles.

### **2.5.3. Usos**

La madera de *Schizolobium amazonicum*, es considerada como liviana, tiene usos industriales en contrachapados, aglomerados, potencialidad para pulpa y papel; además de otros usos como cajonería, divisiones de interiores, molduras (López et al., 2015). También, es empleada para fabricación de juguetes, aviones a escala y palitos de fósforo (Barrance et al., 2003).

Como árbol vivo es utilizado como soporte de cultivos trepadores como vainilla y pimienta. Al ser fijadora de nitrógeno, se recomienda para recuperación de suelos en plantaciones mixtas y en asociaciones agroforestales con plátano, yuca, café y pastos. También se ha utilizado como protector del café ante heladas al norte de Paraná (Barrance et al., 2003).

## **2.6. AGROFORESTERÍA**

Según Beer et al. (1998) los sistemas agroforestales madera – cacao y madera – café, incrementan la sostenibilidad y eficiencia económica y energética del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*).

Las especies forestales dentro de un sistema agroforestal presentan un mayor crecimiento en comparación con árboles dentro de plantaciones puras ya que se benefician de la fertilización proporcionada por el cultivo agrícola. Esto es generado por un ritmo de poda más frecuente y turnos más cortos (Tenorio & Moya, 2018).

Barrance et al. (2003) menciona que *Schizolobium amazonicum* es excelente para cultivos o usos que requieren sombra ligera; se usa como soporte vivo de cultivos trepadores como vainilla, y pimienta en Costa Rica. En Brasil y la región Andina se ha recomendado para la recuperación de suelos en plantaciones mixtas y agroforestales con banano, yuca, café y pastos, debido a sus

calidades como fijadora de nitrógeno. Asimismo, se ha utilizado para proteger el café de las heladas.

En la Amazonía peruana se han identificado 92 especies agroforestales maderables; dentro de las cuales se encuentra el *Schizolobium amazonicum* (Cerrón-Macha et al., 2018).

Estudios realizados en Rondonia, Brasil, demuestran que la madera de Pino chuncho en sistemas agroforestales con espaciamiento de 5,0 m x 2,5 m presentó resistencia mecánica similar al de plantaciones puras y bosques naturales; resistencia mecánica específica similar a otras especies de densidades básicas más altas y que alcanzó los requisitos mínimos para uso estructural (Mascarenhas et al., 2021).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. COLECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras de madera fueron colectadas en junio del año 2021 de una plantación agroforestal de *Schizolobium amazonicum* de 11 años. La plantación es propiedad de la organización Oro Verde; ubicada en el centro poblado Nuevo Celendín, distrito de Zapatero, provincia de Lamas, departamento de San Martín (Figura 2). La plantación está asociada con Cacao, cuyo sistema agroforestal en disposición de las plantas y coordenadas de la plantación son UTM WGS84 9271743 Norte, 329906 Este, Zona 18 S (Figura 3).

El estudio anatómico se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la Madera y el físico, en el Laboratorio de Tecnología de la Madera; ambos, de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Se seleccionaron cinco árboles al azar, cuyas características dasométricas se presentan en la Tabla 5.

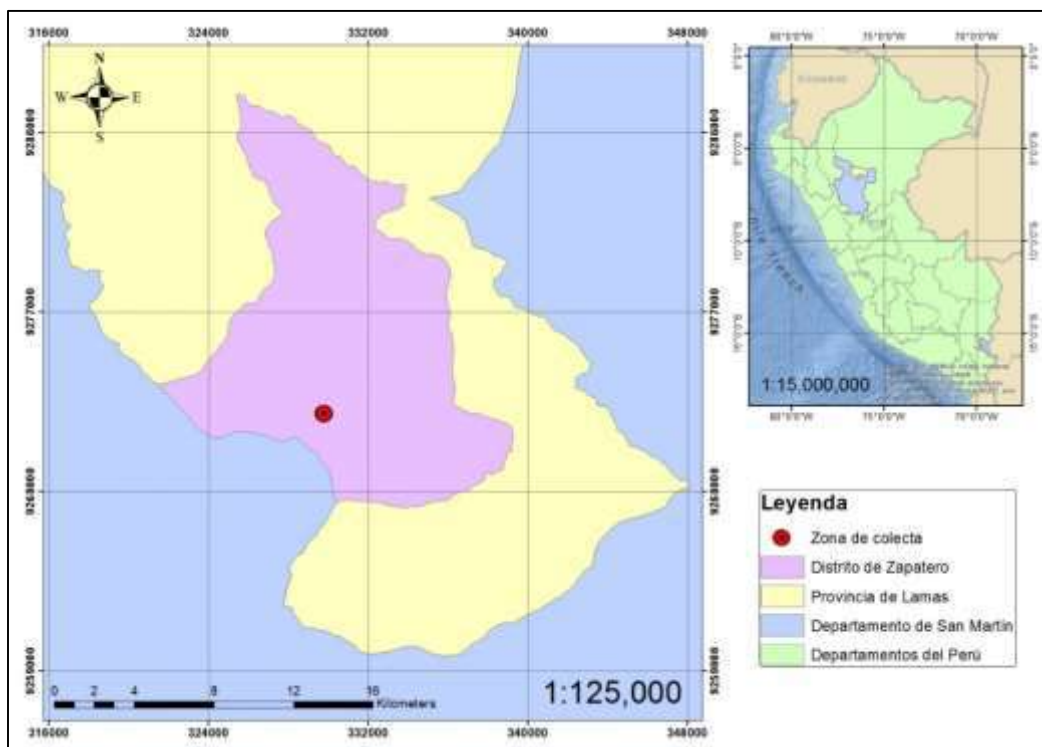
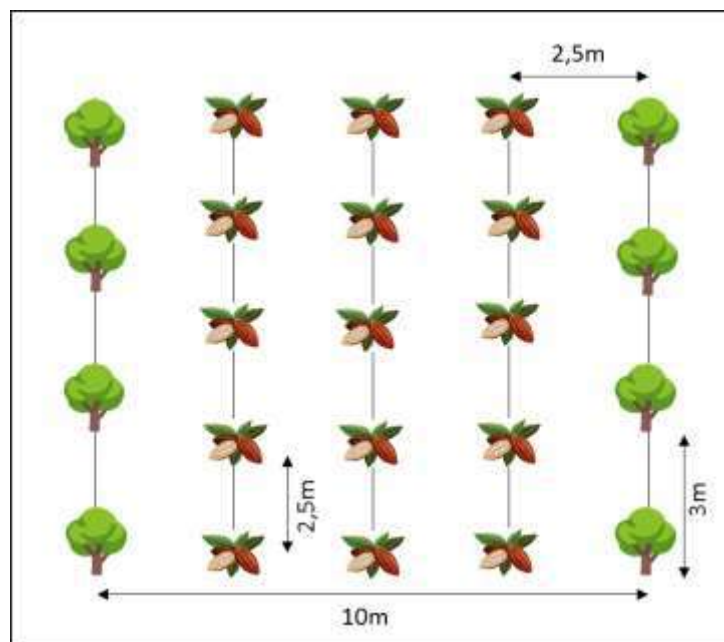


Figura 2: Lugar de colección de muestras



**Figura 3: Sistema agroforestal *S. amazonicum* -cacao**

**Tabla 5: Información de los árboles evaluados**

| Cod. Árbol | Coordenada Este | Coordenada Norte | dap <sup>1</sup> (cm) | Altura total <sup>2</sup> (m) | Volumen Total (m <sup>3</sup> ) |
|------------|-----------------|------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1          | 329770,451      | 9271898,9        | 31,1                  | 25,06                         | 1,33                            |
| 2          | 329767,277      | 9271898,73       | 42,5                  | 29,12                         | 2,89                            |
| 3          | 329761,597      | 9271896,7        | 34,8                  | 25,02                         | 1,67                            |
| 4          | 329758,95       | 9271895,48       | 27                    | 15,76                         | 0,63                            |
| 5          | 329771,111      | 9271887,95       | 37,3                  | 27,60                         | 2,11                            |

Nota:

<sup>1</sup>Diámetro a la altura del pecho

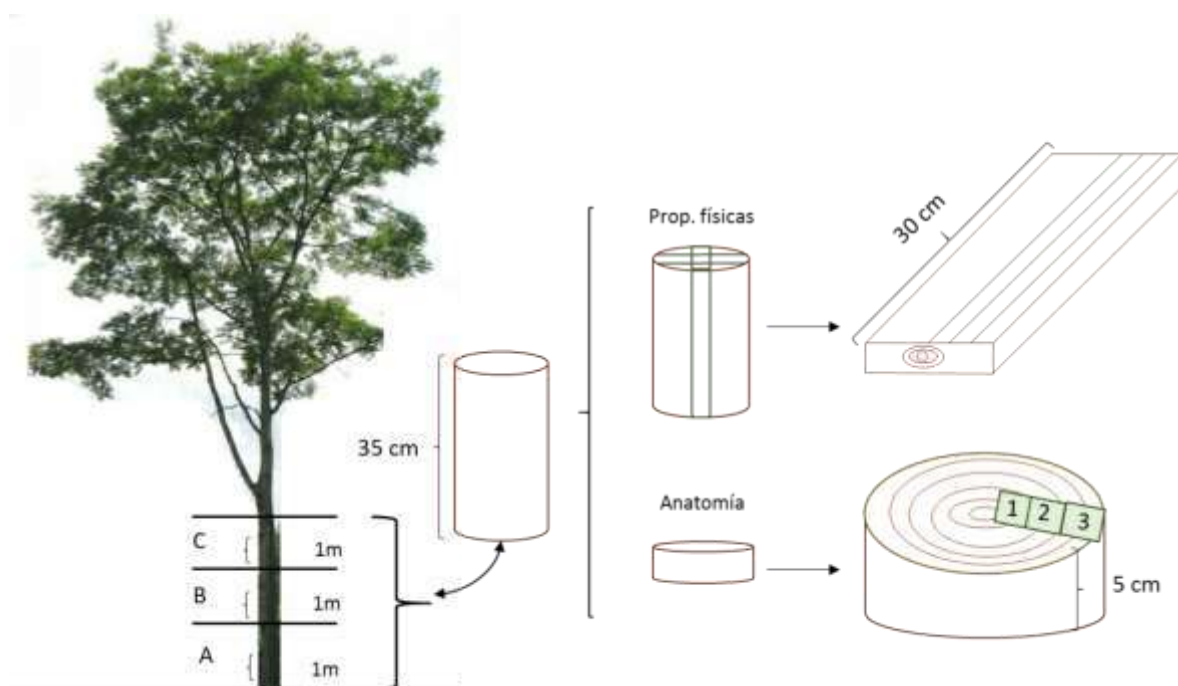
<sup>2</sup> Medición con Field Map

La colección de muestras se realizó según lo establecido por la NTP 251.008:2016, basada en el sistema de selección al azar. Se seleccionaron árboles rectos y sin defectos; tumbados y divididos en tres partes iguales en su longitud comercial, estableciendo tres niveles: A (basal), B (medio) y C (apical).

### 3.2. PROCESAMIENTO DE TROZAS

Para el estudio anatómico se seleccionó una rodaja de 5 cm de la parte inferior de cada nivel. Cada rodaja se seccionó radialmente en tres partes, desde la médula hacia la corteza: 1 (cerca de la médula), 2 (medio) y 3 (cerca de la corteza); conforme a la Figura 4. Además, de la parte basal de cada árbol se prepararon muestras de xiloteca a ser depositadas en el Laboratorio de Anatomía de la Madera.

Para las propiedades físicas se tomó una troza de 30 cm de largo por cada nivel del árbol, para luego cortar una tabla central de 3 cm de espesor que incluye la médula. De ella se prepararon probetas orientadas de 3 x 3 x 10 cm (Figura 4).



**Figura 4: Obtención de muestras para estudio anatómico y propiedades físicas**

### 3.3. MATERIALES

- Agua destilada
- Alcohol de 96°
- Safranina 1%
- Merkoglass
- Glicerina

- Peróxido de hidrógeno
- Ácido acético glacial
- Cuchillas descartables para micrótopo perfil bajo 819
- Porta objeto tamaño estándar
- Cubre objeto (18x18mm y 22x22mm)
- Pincel pelo de Martha N°5
- Bisturí
- Pinza punta fina
- Lupa cuentahílos 10x
- Vaso de precipitado (250 ml y 1 lt)
- Agujas hipodérmicas.

### **3.4. EQUIPOS DE LABORATORIO**

#### **3.4.1. Anatomía**

- Micrótopo de deslizamiento horizontal Leica
- Microscopio binocular DM750
- Estereoscopio Leica
- Plancha de calentamiento Thermo Scientific
- Computadora y software de mediciones Leica

#### **3.4.2. Propiedades físicas**

- Balanza de precisión ( $\pm 0.01$  g)
- Desecador de humedad
- Micrómetro de precisión ( $\pm 0,01$  mm)
- Vernier digital ( $\pm 0,01$  mm)
- Estufa eléctrica

### **3.5. ESTUDIO ANATÓMICO**

La caracterización anatómica se realizó de acuerdo con la norma de Procedimientos en estudios de anatomía de la Madera IBAMA (1991) y a la Lista de características microscópicas para la

identificación de madera dura (IAWA, 1989). Las láminas histológicas y de tejido macerado se prepararon conforme a la metodología utilizada en el Laboratorio de Anatomía de la Madera.

### **3.5.1. Microtecnia**

#### **3.5.1.1. Láminas histológicas**

Se preparan cubos de madera por cada nivel longitudinal y posición radial del árbol, para la obtención de láminas histológicas; cuyos pasos son los siguientes:

- a) Corte de cubos de madera: Se prepararon cubos de madera de 1,5 x 1,5 x 2cm, debidamente orientados en sus tres planos de corte (transversal, radial y tangencial).
- b) Ablandamiento: Los cubos son colocados en un vaso Pírex con agua y llevados a una plancha de calentamiento para su ablandamiento, por un tiempo de 24 horas en total.
- c) Corte en micrótopo: Se realizaron cortes en el plano transversal, radial y tangencial. Las láminas cortadas se colocaron en una placa Petri con alcohol de 30° para su posterior deshidratación.
- d) Deshidratación de láminas: Las láminas se deshidrataron en alcohol de 30°, 60° y 90° en intervalos de 15 minutos para cada concentración.
- e) Coloración, montaje, limpieza y rotulación: Se agregaron 3 a 5 gotas de safranina y se dejó en reposo por 10 a 15 minutos. Luego las láminas fueron lavadas con alcohol de 90° hasta eliminar el exceso de colorante. Para el montaje se colocaron las láminas en el porta objeto, se agregó una gota de Merckoglass y se cubrió con un cubre objeto. Las láminas fueron codificadas según el número de ingreso en la Xiloteca del Laboratorio de Anatomía de la Madera.

#### **3.5.1.2. Tejido macerado**

Se elaboraron palitos de madera similares a palillos de fósforo con 2mm x 2mm x 5cm, para luego someterlos a maceración y obtener vasos y fibras por el método de peróxido de hidrogeno, cuyos pasos fueron los siguientes:

- a) Cocción: los palitos de madera fueron colocados en un vaso Pírex de 100 ml y se adicionó peróxido de hidrogeno hasta cubrirlos. Se llevó a cocción por 20 a 25 minutos a 50°C hasta que las astillas estuvieron decoloradas y ablandadas.

- b) Lavado: luego del ablandamiento las astillas se lavaron de 5 a 6 veces con abundante agua corriente hasta que se eliminó todo el peróxido.
- c) Coloración: Se agregó alcohol de 90° y 3 a 5 gotas de safranina al vaso y se dejó reposar hasta el día siguiente.
- d) Separación de fibras y vasos: una porción del macerado fue colocado en una placa Petri, y con la ayuda de una aguja hipodérmica y un microscopio se separaron fibras y vasos. Para el montaje se siguió el mismo procedimiento de láminas histológicas.

### **3.5.1.3. Medición de elementos leñosos**

La medición de los elementos leñosos se realizó con el programa LAS de Leica (*Leica Application Suite V. 4.12*). Se realizaron 25 mediciones conforme lo indica IAWA (1989) por cada nivel axial y radial (225 por característica por árbol):

- Poros: diámetro tangencial, número por milímetro cuadrado y longitud de vasos.
- Radios: altura, ancho, número de células de ancho, número de células de alto y número por milímetro.
- Fibras: espesor de pared, diámetro y longitud.

### **3.5.1.4. Registro fotográfico**

La toma de macrofotografías se realizó en un estereoscopio Leica EZ4-W; en tanto las microfotografías, en un microscopio Leica DM750 con cámara Leica ICC50-W.

## **3.6. PROPIEDADES FÍSICAS**

Se elaboraron 30 probetas por árbol, 10 por cada nivel axial, debidamente orientadas en sus tres planos de corte, en estado verde. Los ensayos físicos se realizaron según las siguientes normas:

- NTP 251.010:2020. Métodos para determinar el contenido de humedad.
- NTP 251.011:2014. Método para determinar la densidad.
- NTP 251.012:2015. Método de determinación de la contracción.



### 3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### 3.7.1. Análisis descriptivo

Este análisis comprendió la revisión de los datos obtenidos, elaboración de histogramas y gráficos de cajas y bigotes. Además, se hallaron los estadísticos descriptivos: promedio, valores mínimos y máximos y coeficiente de variabilidad, para cada elemento anatómico y propiedad física a diferente nivel axial y posición radial.

#### 3.7.2. Análisis del comportamiento longitudinal y radial

Para evaluar las diferencias según nivel de las variables anatómicas longitud de vasos, diámetro de poro, longitud de fibra, espesor de pared y diámetro de fibra se empleó un diseño factorial de 3x3. Los factores fueron A) posición longitudinal y B) posición radial, para cada uno con tres niveles. Los niveles para posición longitudinal fueron: base, medio, apical; y para el factor radial: médula, intermedio, corteza. Para el análisis se realizó un ANOVA, previo análisis de supuestos, mediante el modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}, \text{ con } i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 1, 2, \dots, r_{ij}.$$

Donde:

- $Y_{ijk}$ : valor o rendimiento observado con el  $i$ -ésimo nivel del factor A,  $j$ -ésimo nivel del factor B,  $k$ -ésima repetición.
- $\mu$ : efecto de la media general.
- $\alpha_i$ : efecto del  $i$ -ésimo nivel del factor A.
- $\beta_j$ : efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor B.
- $(\alpha\beta)_{ij}$ : efecto de la interacción en el  $i$ -ésimo nivel del factor A,  $j$ -ésimo nivel del factor B.
- $e_{ijk}$ : error experimental en el  $i$ -ésimo nivel del factor A,  $j$ -ésimo nivel del factor B,  $k$ -ésima repetición.

Para analizar el comportamiento axial de las propiedades físicas se evaluaron las variables de: Densidad básica, contracción radial, contracción tangencial, contracción volumétrica, relación T/R.

El modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- $Y_{ij}$  = Valor observado en la j-ésima muestra del i-ésimo nivel de altura.
- $\mu$  = Efecto promedio general del experimento.
- $\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo nivel de altura.
- $\epsilon_{ij}$  = Efecto del error experimental en la j-ésima muestra del i-ésimo nivel de altura.

En caso de significancia de alguno de los factores, se realizó la prueba de Tukey para evaluar el comportamiento en los distintos niveles.

### 3.7.3. Análisis de supuestos

Para validar el ANOVA, se evaluó la linealidad, la normalidad y de homogeneidad de varianzas.

Para la normalidad se utilizó la prueba de Shapiro Wilks en R (shapiro.test).

Para la homogeneidad de varianzas se utilizó la prueba Non-constant error variance en R (ncvTest).

En caso de incumplimiento de supuestos, se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal Wallis.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA

#### 4.1.1. Descripción de la madera de *Schizolobium amazonicum*

En condición seca al aire, no se observa diferencia entre albura y duramen; la madera es color blanco cremoso (2,5Y 8/4), sin olor y sin ni sabor. Grano entrecruzado, textura media, brillo medio y vetado satinado. La madera es blanda y muy susceptible al manchado y ataque de insectos. Los anillos de crecimiento son diferenciados por bandas marrones regulares. Estos resultados concuerdan parcialmente con lo hallado por Lluncor (2012), quien indica que la especie posee color marrón muy pálido a amarillo pálido, sin olor ni sabor, con textura gruesa, sin brillo, vetado punteado y en líneas verticales y grano de cruzado a entrecruzado; estas diferencias podrían deberse a que los árboles estudiados por este autor fueron extraídos de selva baja. Por su parte Romero (2010) encontró que la especie posee color crema, textura gruesa, vetado jaspeado, brillo alto y grano entrecruzado; la mayoría de estos resultados coinciden con el presente estudio.

#### 4.1.2. Características macroscópicas

**Poros:** Visibles con lupa de 10x, predominantemente solitarios de forma redonda y ovalada, lo que concuerda con Lluncor (2012) y múltiples radiales; acorde con lo encontrado con Lluncor, Romero (2010) y con hasta máximo 4 células; a diferencia de Acevedo y Kikata (1994) quienes describen máximo 3. Porosidad difusa; tal como lo descrito por Acevedo y Kikata y Lluncor.

**Parénquima:** Visible con lupa de 10x. Paratraqueal, vasicéntrico y aliforme. La distribución del parénquima concuerda con lo estudiado por Romero (2010), no obstante, discrepa con lo hallado por Lluncor (2012), quien menciona que la especie presenta parénquima paratraqueal aliforme y vasicéntrico en menor proporción.

**Radios:** Visibles con lupa de 10x. No estratificados. Estos resultados concuerdan con lo hallado por Romero (2010) y Lluncor (2012) para la especie en estudio.

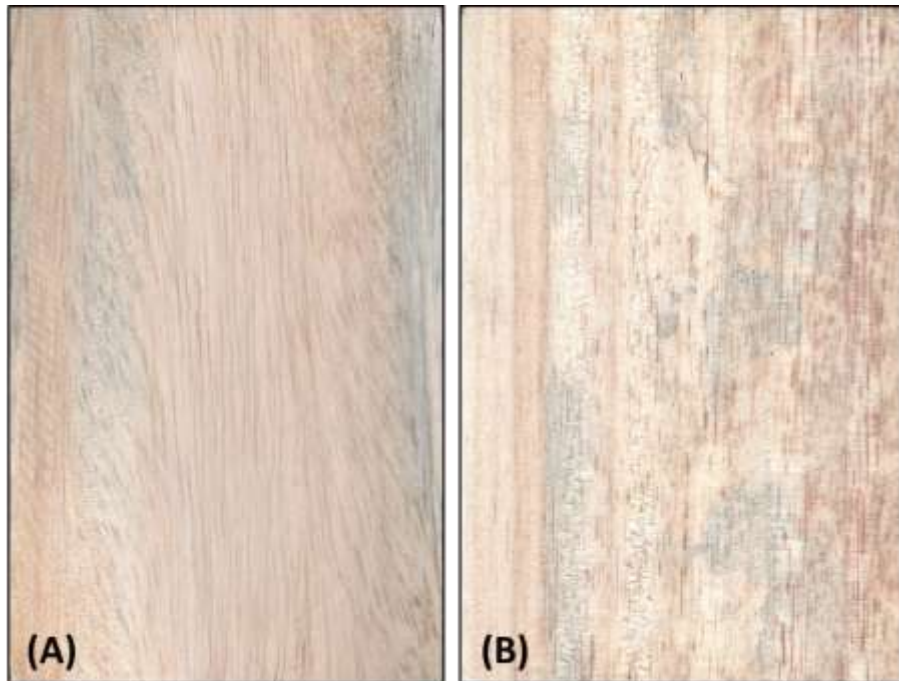
#### 4.1.3. Características microscópicas

**Poros:** Diámetro tangencial promedio de 219 $\mu$ m y considerados grandes. Este valor es ligeramente mayor a lo encontrado por Acevedo y Kikata (1994) de 177  $\mu$ m y ligeramente menor a lo hallado por Silva (2004) que fue de 310  $\mu$ m. Frecuencia de 2 poros/mm<sup>2</sup>, valor que está dentro del rango de 1 a 3 poros/mm<sup>2</sup> encontrado por Acevedo y Kikata (1994); sin embargo, el valor hallado no concuerda con Romero (2010) quien encontró una frecuencia de 3,97 poros/mm<sup>2</sup>. Longitud de los elementos vasculares de 225 $\mu$ m considerados pequeños, valor menor que el encontrado por Romero (2010). Platina de perforación simple; punteaduras alternas, ovaladas, apertura incluida. Estas características son similares a las encontradas por Romero (2010).

**Parénquima:** Vasicéntrico. No estratificado, con 3 a 4 septas por célula cuando vistas en sección longitudinal.**Radios:** Altura promedio de 326 $\mu$ m, clasificados como bajos, con ancho promedio de 32 $\mu$ m, considerados finos y 5 radios/mm. Estos valores son similares a los descritos por Romero (2010) quien describe que la especie posee ancho de radios de 34,46  $\mu$ m y 5 radios/mm lineal; pero mayores en la altura de radios, ya que la misma autora halló una longitud de 257,47  $\mu$ m en promedio. Con 16 células en altura y 3 células de ancho; algunos longitudinalmente fusionados. Homocelulares, conformado solo por células procumbentes. No estratificados.

**Fibras:** Libriformes. Longitud promedio de 1291 $\mu$ m, consideradas cortas; de 37 $\mu$ m de ancho y espesor de pared de 2,3 $\mu$ m, considerado muy delgado. No estratificadas. Por su parte Romero (2010) refiere longitud de 1076,5  $\mu$ m, ancho de 38,71  $\mu$ m y espesor de pared de 2,83  $\mu$ m; siendo valores muy cercanos a lo hallado en el presente estudio. Además, Vidaurre (2010) encontró fibras de 1070  $\mu$ m de longitud; 33,26  $\mu$ m de ancho y 3,85  $\mu$ m de espesor de pared en plantaciones de Brasil e igualmente fueron similares.

En la Figura 5 se presentan las muestras de xiloteca de la especie en sección tangencial y radial. Asimismo, en la Figura 6 se muestra la estructura de la sección transversal. En las Figuras 7, 8 y 9 se visualizan la estructura microscópica en las secciones transversal, tangencial y radial. Adicionalmente en la Figura 10 se muestran las formas de vasos.

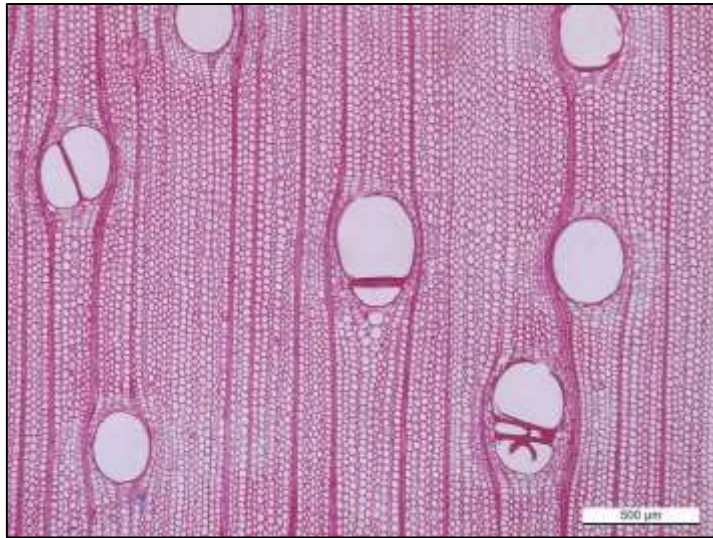


**Figura 5: Muestra de Xiloteca de *S. amazonicum***

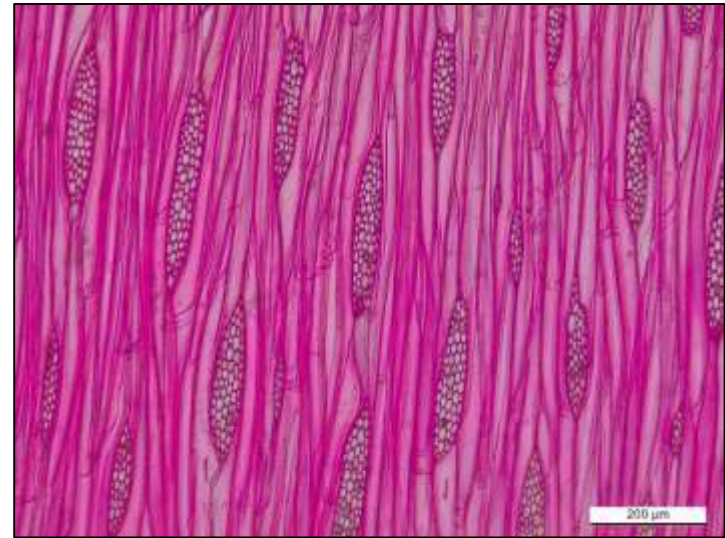
(A) Sección tangencial; (B) Sección radial



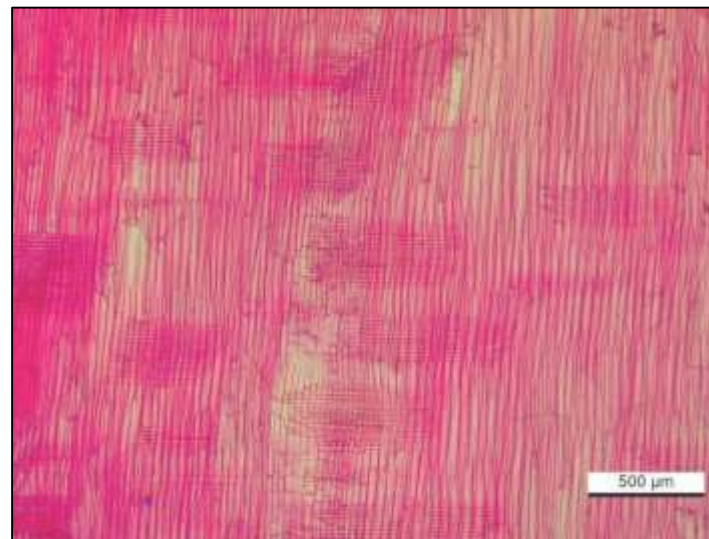
**Figura 6: Macroscopía de *S. amazonicum***



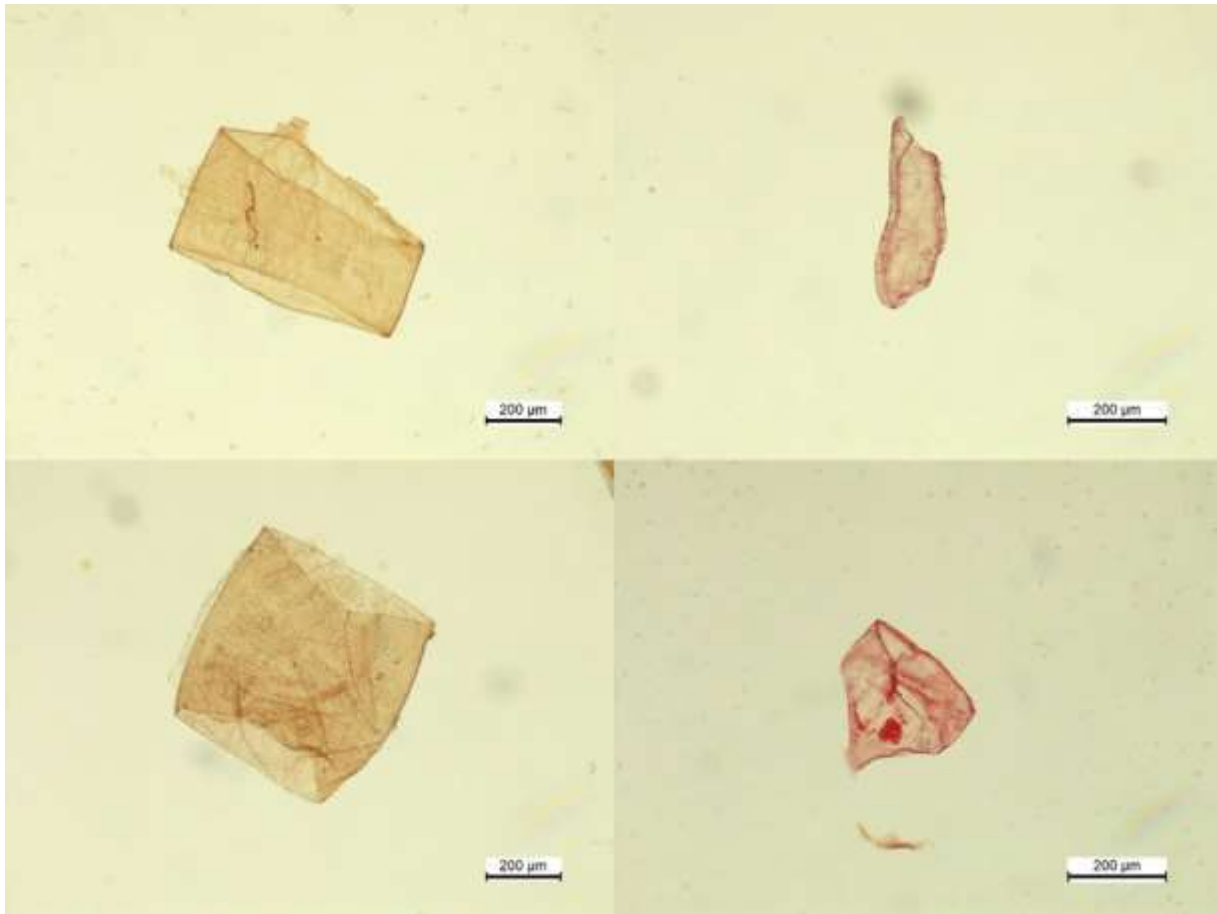
**Figura 8: Vista microscópica sección transversal *S. amazonicum***



**Figura 7: Vista microscópica sección tangencial *S. amazonicum***



**Figura 9: Vista microscópica sección radial *S. amazonicum***



**Figura 10: Vista microscópica de elementos vasculares**

En la Tabla 6 se muestran los promedios obtenidos en la medición de los elementos leñosos de *S. amazonicum* anteriormente descritos. Se observa que el diámetro de poros se encuentra en el rango de variación normal (M. Chavesta, comunicación personal, 15 de junio de 2023). Además, la longitud de fibra presenta el menor coeficiente de variabilidad (14,66) y su rango varía desde 764,85 a 1923,58  $\mu\text{m}$ . Esto se puede deber a que se evaluaron elementos vasculares de todas las posiciones radiales y axiales del fuste (madera juvenil y madura) y; cuando el cambium es joven los elementos vasculares producidos son de menor tamaño y a medida que el cambium madura va generando elementos de mayor dimensión (Cobas, 2012). Adicionalmente, los factores externos, tales como inundaciones, sequías y cambios en el clima pueden afectar dicha actividad cambial (Wodzicki, 2001).



Tomando como precedente al Atlas de Elementos Vasculares de maderas asiáticas, existe una variedad morfológica en los vasos en la especie *Koompassia malaccensis*, perteneciente a la familia Fabaceae-Caesalpinioideae (Hemling et al., 2018), al igual que la especie en estudio.

**Tabla 6: Medidas de tendencia central y dispersión de las variables anatómicas**

| Tipo de célula | Variable             | Unidades | Promedio | Mínimo | Máximo  | C.V   |
|----------------|----------------------|----------|----------|--------|---------|-------|
| Vasos          | Diámetro             | µm       | 219,16   | 70,87  | 411,68  | 25,45 |
|                | N°/mm <sup>2</sup>   | unidades | 1,57     | 0,00   | 6,00    | 64,20 |
|                | Longitud             | µm       | 224,93   | 42,65  | 467,68  | 34,34 |
| Radios         | Altura               | µm       | 325,31   | 77,26  | 1537,23 | 53,71 |
|                | Ancho                | µm       | 32,41    | 8,07   | 105,61  | 44,05 |
|                | N° células de altura | unidades | 16,36    | 4,00   | 73,00   | 51,17 |
|                | N° células de ancho  | unidades | 3,05     | 1,00   | 6,00    | 33,93 |
|                | N° células/mm        | unidades | 5,48     | 2,00   | 13,00   | 25,38 |
|                | Diámetro             | µm       | 37,36    | 14,54  | 66,26   | 21,77 |
| Fibras         | Espesor de pared     | µm       | 2,35     | 0,93   | 5,13    | 25,43 |
|                | Longitud             | µm       | 1291,61  | 764,85 | 1923,58 | 14,66 |

#### 4.2. VARIACIÓN ANATÓMICA

En la Tabla 7 se presentan los resultados según nivel axial y radial de los elementos anatómicos evaluados. En dicha tabla, se observa que, en general, la mayoría de los valores anatómicos tienden a aumentar de médula a corteza y de base a ápice, sin embargo, la variación de los elementos anatómicos por posición radial según nivel axial, se explica detalladamente mediante un análisis en la interacción.

Los ANOVA que sustentan la Tabla 7, se pueden observar en el Anexo 3.

**Tabla 7: Comportamiento de las variables anatómicas**

|  |          | DP                  | LV                  | LF                    | DF                   | EP                 |
|--|----------|---------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| Valores anatómicos Axiales - Promedio                        |          |                     |                     |                       |                      |                    |
| A: Basal   |          | 194,61<br>(26,01)   | 218,93<br>(34,77)   | 1316,14<br>(16,70)    | 35,46<br>(22,40)     | 2,48<br>(25,56)    |
| B: Intermedio  |          | 230,18<br>(25,40)   | 225,73<br>(34,87)   | 1287,70<br>(13,60)    | 39,21<br>(20,29)     | 2,33<br>(24,24)    |
| C: Apical  |          | 232,68<br>(21,31)   | 230,13<br>(33,31)   | 1270,99<br>(13,10)    | 37,40<br>(21,62)     | 2,23<br>(25,34)    |
| Valores anatómicos Radiales - Promedio                       |          |                     |                     |                       |                      |                    |
| 1: Médula  |          | 188,50<br>(27,27)   | 207,39 b<br>(31,44) | 1182,82<br>(14,73)    | 37,86<br>(22,09)     | 2,19<br>(23,30)    |
| 2: Intermedio  |          | 232,71<br>(22,06)   | 238,71 a<br>(34,13) | 1333,95<br>(13,10)    | 39,11<br>(19,87)     | 2,34<br>(25,39)    |
| 3: Corteza   |          | 236,28<br>(25,45)   | 228,68 a<br>(35,33) | 1358,05<br>(12,50)    | 35,11<br>(22,08)     | 2,52<br>(25,25)    |
| Valores anatómicos Radiales según posición Axial - Promedios |          |                     |                     |                       |                      |                    |
| P. Axial   | P.Radial |                     |                     |                       |                      |                    |
|  | 1        | 164,19 d<br>(25,09) | 201,86<br>(31,47)   | 1139,40 d<br>(14,53)  | 37,00 bc<br>(22,50)  | 2,25 c<br>(23,26)  |
| Base   | 2        | 210,88 b<br>(24,09) | 229,44<br>(33,54)   | 1368,07 b<br>(14,05)  | 37,26 bc<br>(20,63)  | 2,49 ab<br>(26,03) |
|  | 3        | 208,79 b<br>(21,69) | 225,48<br>(37,28)   | 1440,96 a<br>(12,35)  | 32,12 d<br>(20,89)   | 2,69 a<br>(23,97)  |
|  | 1        | 185,50 c<br>(29,38) | 212,58<br>(30,90)   | 1224,86 c<br>(15,08)  | 38,55 ab<br>(21,27)  | 2,28 bc<br>(22,94) |
| Centro   | 2        | 246,11 a<br>(18,55) | 240,12<br>(36,47)   | 1314,66 b<br>(13,32)  | 40,95 a<br>(19,17)   | 2,25 c<br>(22,35)  |
|  | 3        | 258,94 a<br>(17,92) | 224,49<br>(35,42)   | 1323,57 b<br>(11,19)  | 38,13 ab<br>(18,85)  | 2,45 bc<br>(26,09) |
|  | 1        | 215,80 b<br>(20,44) | 207,72<br>(31,99)   | 1184,21 cd<br>(13,73) | 38,03 abc<br>(22,50) | 2,02 d<br>(21,93)  |
| Ápice  | 2        | 241,12 a<br>(20,93) | 246,58<br>(32,12)   | 1319,13 b<br>(11,27)  | 39,13 ab<br>(18,88)  | 2,26 c<br>(26,06)  |
|  | 3        | 241,12 a<br>(20,70) | 236,09<br>(33,40)   | 1309,63 b<br>(11,58)  | 35,07 cd<br>(22,20)  | 2,41 bc<br>(24,47) |

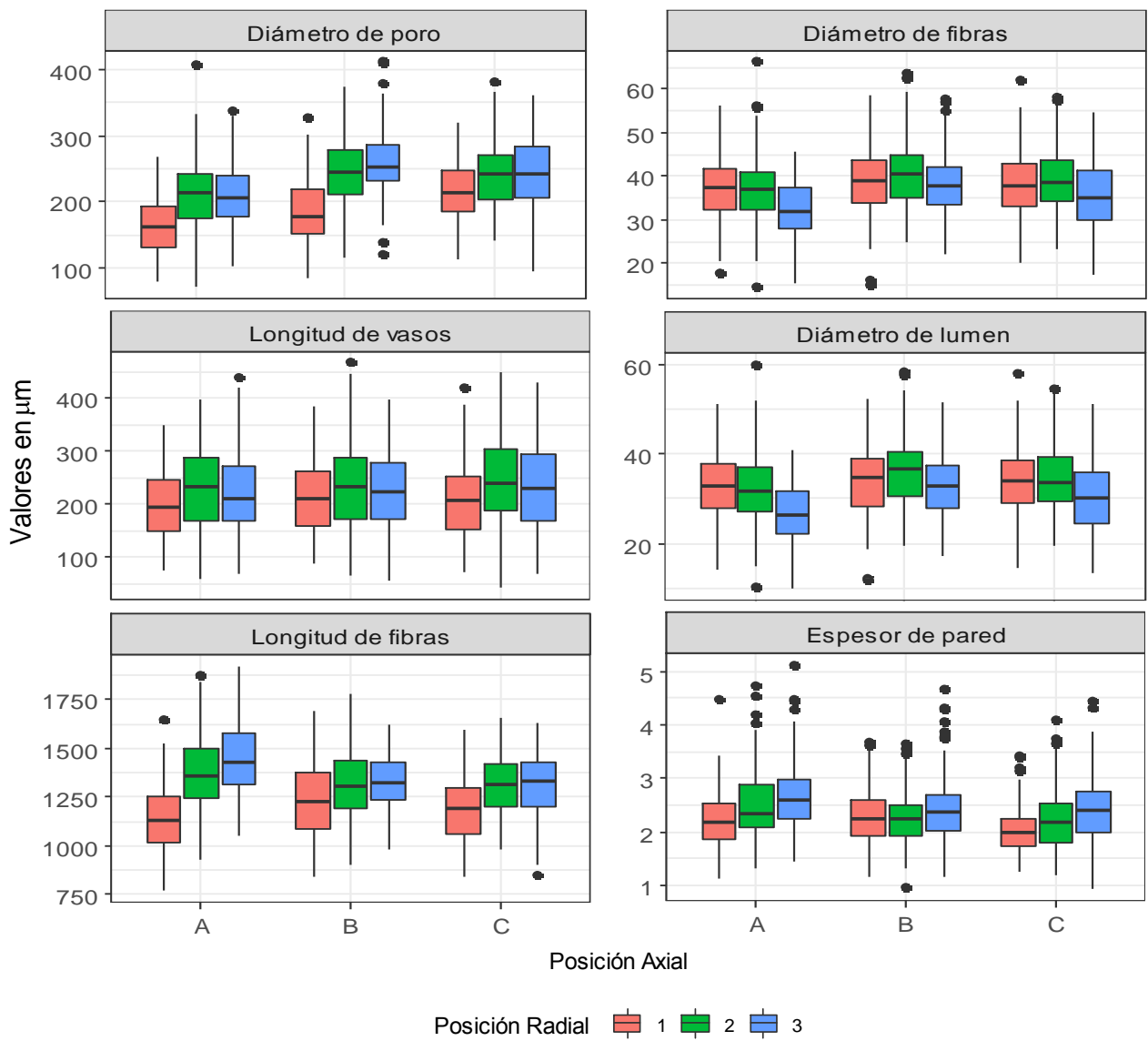
Nota:

1: Médula; 2: Intermedio; 3: Corteza. DP: Diámetro de poro en ( $\mu\text{m}$ ); LV: Longitud de vaso en ( $\mu\text{m}$ ); LF: Longitud de fibra en ( $\mu\text{m}$ ); DF: Diámetro de fibra en ( $\mu\text{m}$ ); EP: Espesor de pared en ( $\mu\text{m}$ ).

Medias seguidas de la misma letra dentro de una misma columna no difieren estadísticamente entre sí al aplicar la prueba de Tukey ( $p>0,05$ )

Valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación.

En la Figura 11, se muestran los gráficos de cajas y bigotes para cada parámetro evaluado. Se observa que no existe una tendencia definida en las distintas posiciones axiales y radiales.



Posición Radial: 1: Médula; 2: Intermedio; 3: Corteza.

**Figura 11: Gráfico de cajas y bigotes de vasos y fibras según nivel axial y radial**

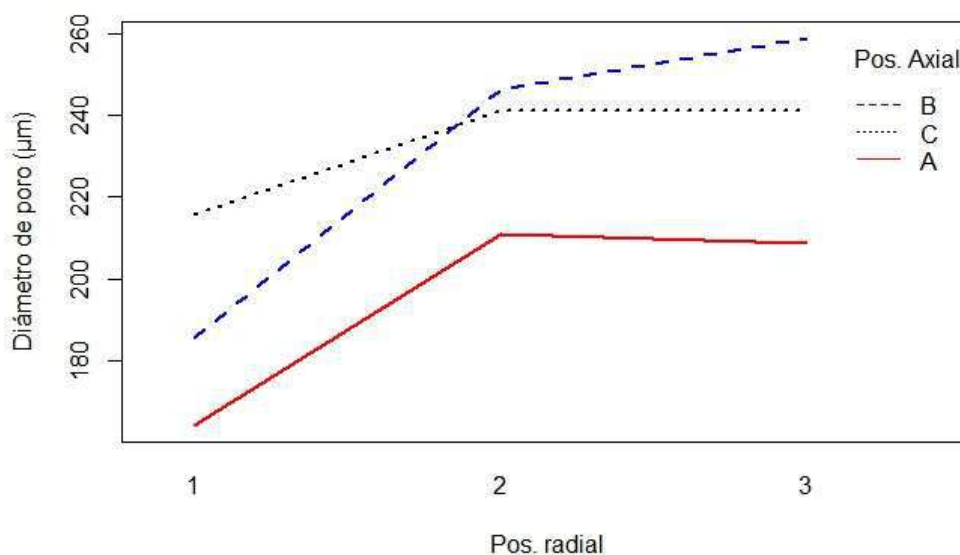
A: Base; B: Intermedio; C: Ápice. 1: Médula; 2: Intermedio; 3: Corteza.

#### 4.2.1. Diámetro de poro

Axialmente, conforme a la Tabla 7, el diámetro de poro en la médula aumenta de base a ápice, mientras que en la zona intermedia y en la corteza aumenta de base a centro y se mantiene hacia el ápice. Radialmente, el diámetro de poros aumenta de la médula al intermedio y se mantiene a la corteza en los tres niveles axiales (Figura 12). Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Silva (2004) en un estudio con la misma especie en Brasil, quien detalla que el diámetro de poro se reduce en dirección corteza-médula solo en la madera de la base del fuste, mientras que en la zona intermedia y apical, los valores de diámetro de poro son mayores en el intermedio y cerca de la corteza. Por su parte, Cahuana et al. (2019) encontraron diferencias significativas al evaluar diámetro de vasos en árboles de *Amburana cearensis* en Madre de Dios, observando un aumento de 48% de médula a corteza.

El patrón encontrado en el presente estudio se puede explicar debido a que la madera en la zona central es predominantemente juvenil y muy variable y conforme madura, las características anatómicas se estabilizan y se vuelven relativamente constantes (Medina et al., 2013).

Adicionalmente, Egoavil et al. (2020) mencionan que las dimensiones variables de los elementos vasculares corresponden a la necesidad de agua para el crecimiento y desarrollo del árbol, es así que varían en sentido radial del fuste, por lo que el diámetro de vasos es mayor cerca a la corteza.



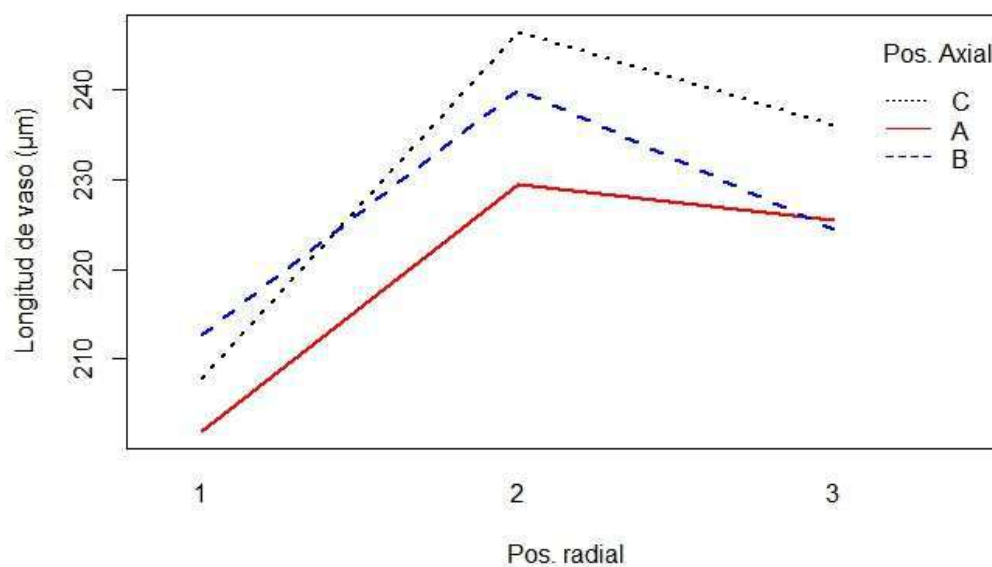
**Figura 12: Variación axial y radial del diámetro de poro**

A: Base; B: Intermedio; C: Ápice. 1: Médula; 2: Intermedio; 3: Corteza

#### 4.2.2. Longitud de vasos

Conforme indica la Tabla 7 y la Figura 13, la longitud de vasos sólo se ve afectada por la posición radial. En esta, se indica que los vasos son de menor longitud en la zona medular y aumentan su tamaño hacia la parte intermedia y se mantiene hacia la corteza. Este resultado concuerda con lo encontrado por Segura et al. (2020), quien no encontró diferencias significativas en la interacción de las posiciones axial y radial en las dimensiones anatómicas que evaluó en árboles de *Tectona grandis*.

Egoavil et al. (2020) al evaluar la variación axial en *Calycophyllum spruceanum* de 20 años, encontraron valores decrecientes desde la altura del pecho hacia el ápice. Por su parte, con respecto a la variación radial Moglia & Lopez (2001) y Medina et al. (2013) encontraron aumento de médula a corteza, lo cual coincide parcialmente con lo observado.



**Figura 13: Variación axial y radial de la longitud de vaso**

A: Base; B: Intermedio; C: Ápice. 1: Médula; 2: Intermedio; 3: Corteza

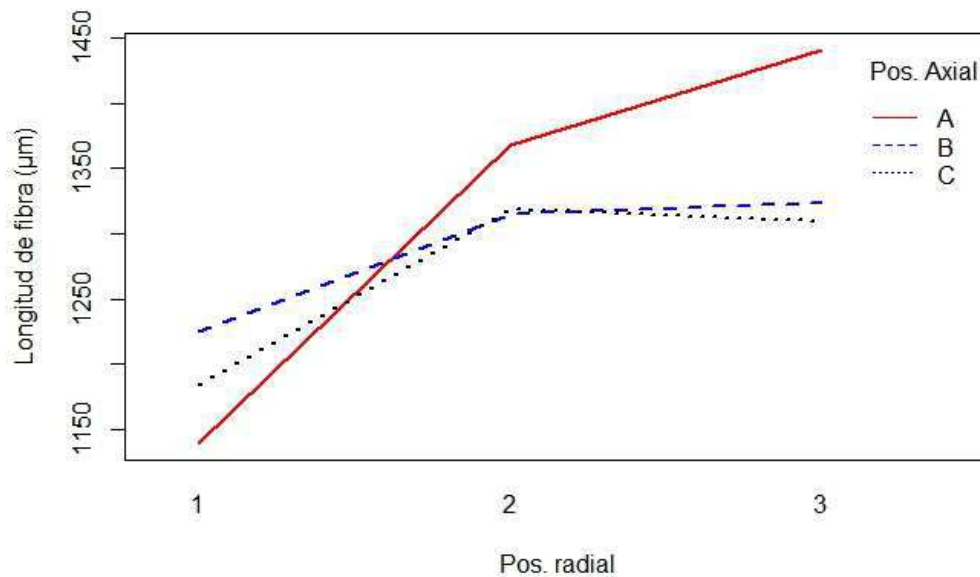
#### 4.2.3. Longitud de fibra

Como se observa en la Tabla 7 y en la Figura 14, la longitud de fibra en la zona medular aumenta de la base al medio y se mantiene hacia el ápice, en el intermedio se mantiene constante en los tres niveles axiales y en la zona cercana a la corteza disminuye de base a centro y se mantiene hacia el ápice. Radialmente aumenta en sentido médula-corteza en la parte basal del fuste; y en

la parte intermedia y apical aumenta en sentido médula-intermedio y se mantiene hacia la corteza. Estos patrones concuerdan con la variación radial descrita por Panshin y De Zeeuw (1980) y Zobel y Van Buijtenen (1989).

Silveira et al. (2012) al estudiar la madera de *Schizolobium parahyba* VAR. *Amazonicum* en Brasil encontraron dos patrones de variación en dos diferentes sitios y edades; el primero ascendente de médula a corteza (10-18 años) y el segundo ascendente de médula a centro y luego estable hacia la corteza (22-33 años). Estos patrones son similares a los obtenidos en el presente trabajo a lo largo del eje del longitudinal del fuste.

Los valores de longitud de fibra encontrados en el presente estudio son mayores que los encontrados por Silva (2004), en plantaciones de *Schizolobium amazonicum* de 9 años en Brasil los cuales fueron 1155,04  $\mu\text{m}$  en la base, 1140,01  $\mu\text{m}$  en la zona media y 1138,04  $\mu\text{m}$  en el ápice y radialmente fueron de 1139,56  $\mu\text{m}$  en la médula, 1156,67  $\mu\text{m}$  en el intermedio y 1136,86  $\mu\text{m}$  en la corteza. Esto puede deberse a la edad de la plantación, ya que como indica Vidaurre (2010), el largo de las fibras es mayor en árboles de 11 años de edad que en árboles más jóvenes.

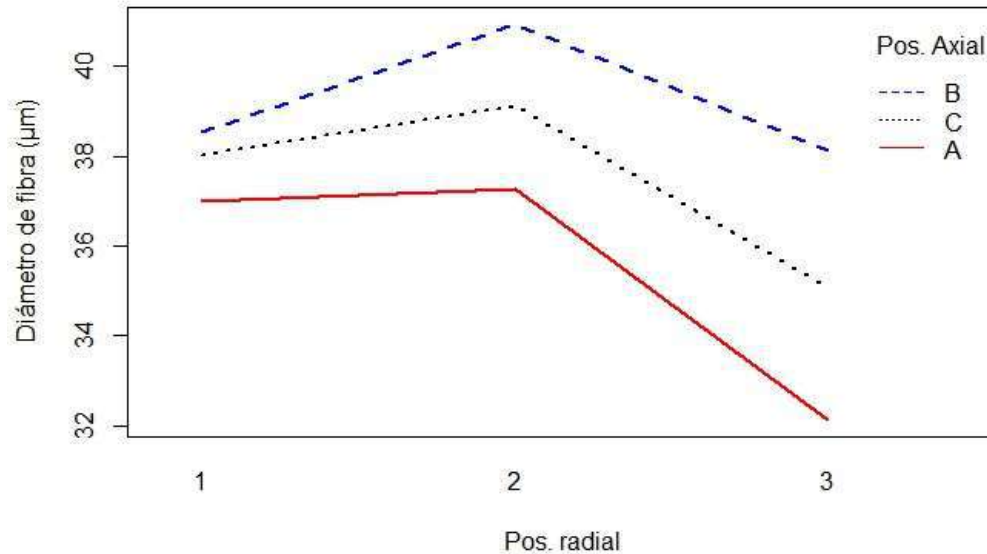


**Figura 14: Variación axial y radial de la longitud de fibra**

A: Base; B: Intermedio; C: Ápice. 1: Médula; 2: Intermedio; 3: Corteza

#### **4.2.4. Diámetro de fibra**

Al estudiar el diámetro de fibra en *S. amazonicum*, se halló que axialmente, no hubieron patrones de cambio diferenciados en la médula; en el intermedio y en la corteza se encontró que el diámetro de fibra aumenta de base a centro, mas no se hallaron diferencias significativas en relación con los valores del ápice. Radialmente, en la zona basal del fuste no hubo diferencias significativas en dirección médula-intermedio pero se presenta aumento en dirección intermedio-corteza, adicionalmente no hubieron diferencias significativas de los tres niveles radiales en la zona centro y apical. Esto evidencia que el pino chuncho no posee un patrón establecido en relación a diámetro de fibras. Igualmente, otros autores no encontraron patrones definidos en sus investigaciones, como Chavesta (2019) para árboles de *Guazuma crinita* en Perú. Por su parte Silva (2004), en plantaciones de 7 años con espaciamiento de 4 m x 2 m no encontró diferencias significativas en el eje transversal del tronco, sin embargo, sí reportó aumento de centro a ápice en espaciamientos de 4 m x 3 m, afirmando que, para dicha característica, la especie es muy homogénea. Por su parte Silveira (2012), halló dos diferencias según el sitio de estudio; (1) aumento de médula a intermedio y disminución de intermedio a corteza; y (2) disminución de médula a corteza, patrones que concuerdan con el presente estudio. En la Figura 15, se aprecia el comportamiento del diámetro de fibras. Estos resultados concuerdan con el segundo patrón de variación establecido por Panshin y De Zeew (1980) y con lo encontrado por Vidaurre (2010).



**Figura 15: Variación axial y radial del diámetro de fibra**

A: Base; B: Intermedio; C: Ápice. 1: Médula; 2: Intermedio; 3: Corteza

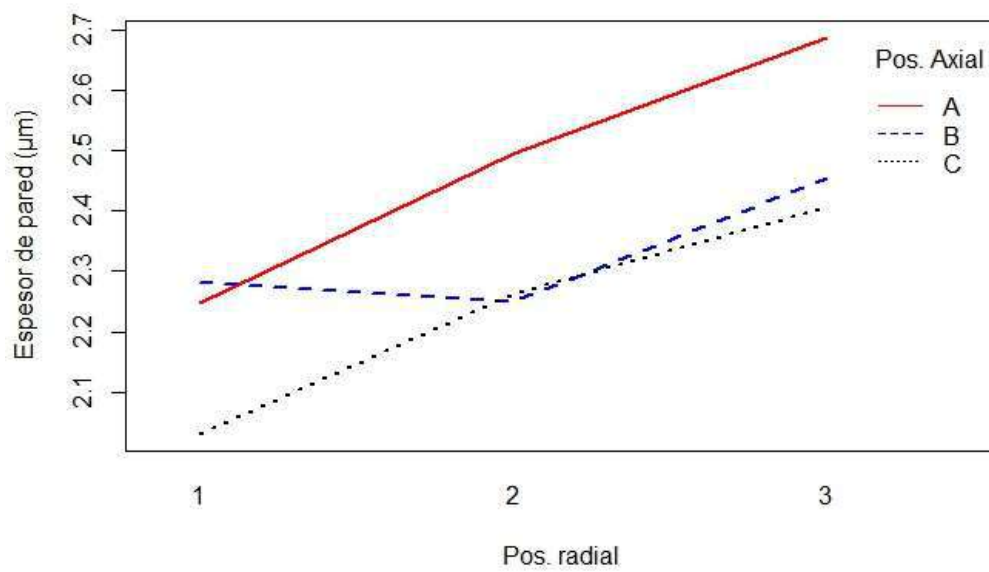
#### 4.2.5. Espesor de pared

Tal como se aprecia en la Tabla 7, axialmente, en la zona medular del fuste, los valores del espesor de pared son menores en el ápice que en el centro y la base, en el intermedio y en la corteza los valores son mayores en la base que en los demás niveles axiales. Radialmente, en la parte basal del fuste, el espesor de pared muestra un aumento médula-intermedio y luego se estabiliza hacia la corteza; en la zona media del fuste no existen diferencias significativas entre los tres niveles radiales y en la parte apical del fuste el espesor de pared hacia la médula es menor que en las otras dos posiciones. Adicionalmente, en la Figura 16 se observa que los valores encontrados en la posición basal (A) son numéricamente mayores que los encontrados en la posición apical en los tres niveles del fuste (C).

En promedio se encontró que la especie en estudio posee espesor de pared de  $2,35\mu\text{m}$ ; este valor es aproximadamente la mitad de lo encontrado por Silva (2004) para la misma especie. La misma autora indica tendencia creciente en sentido médula corteza solo en la posición intermedia del fuste, lo que concuerda parcialmente con lo obtenido en el presente estudio. Vidaurre (2010) y Silveira et al. (2012) encontraron tendencia ascendente de médula a corteza en árboles *S. amazonicum* y menores valores de espesor de pared promedios por nivel. El mismo



comportamiento radial fue encontrado por Chavesta (2019) y Portal et al. (2019) para otras especies de latifoliadas de la amazonía peruana.



**Figura 16: Variación axial y radial del espesor de pared**

A: Base; B: Intermedio; C: Ápice. 1: Médula; 2: Intermedio; 3: Corteza

### 4.3. PROPIEDADES FÍSICAS

Tal como se observa en la Tabla 8, la madera de *Schizolobium amazonicum* presenta densidad básica de 0,32, clasificada como baja (Sotomayor, 2005). Este valor es muy cercano al 0,31 encontrado por Filgueira et al. (2020) en árboles de plantación de la misma especie y de la misma edad en Brasil. Adicionalmente, el resultado es ligeramente superior al de Mascarenhas (2021), quien reporta un valor de 0,28 para la especie en sistema agroforestal. Adicionalmente, los resultados hallados son similares a lo encontrado por Silva (2004) y Vidaurre (2010) en plantaciones de la misma especie en Brasil y por Romero (2010) en un bosque natural en Satipo. La contracción radial hallada es de 2,53%, valor mayor al 1,67% encontrado por Torres (2009) en una plantación de Pino chuncho de 23 años de edad en Ucayali; al 2,3% encontrado por Silva (2004) y, menor al 2,89% reportado por Mascarenhas et al. (2021) en un sistema agroforestal con *S. Parahyba* de 19 años de edad.

El promedio de contracción tangencial fue de 5,84%, que según la clasificación de Fuentes-Talavera et al. (2002) es ligeramente alta. Torres (2009) obtuvo una contracción tangencial promedio de 4,87%, Vidaurre (2010) de 5,23%, Romero (2010) de 3,91%; y Mascarenhas (2021) reportó en un sistema agroforestal una contracción tangencial de 4,97%. Todos estos valores corresponden a la misma especie en diferentes localidades, con diferentes edades y son menores a los encontrados en el presente estudio.

La contracción volumétrica promedio para los datos es de 8,18%, considerada muy baja según Aróstegui (1982). Este valor es muy cercano al 8,03% encontrado por Mascarenhas (2021) en un sistema agroforestal y similar a los resultados obtenidos por los autores citados anteriormente.

El coeficiente de anisotropía promedio para el estudio fue de 2,4, este valor es considerado medianamente estable según los valores de Aróstegui (1982), bajo según la clasificación de Durlo & Marchiori (1992) y con dificultades según Coronel (1994), esto quiere decir que la especie podría presentar problemas en el secado.

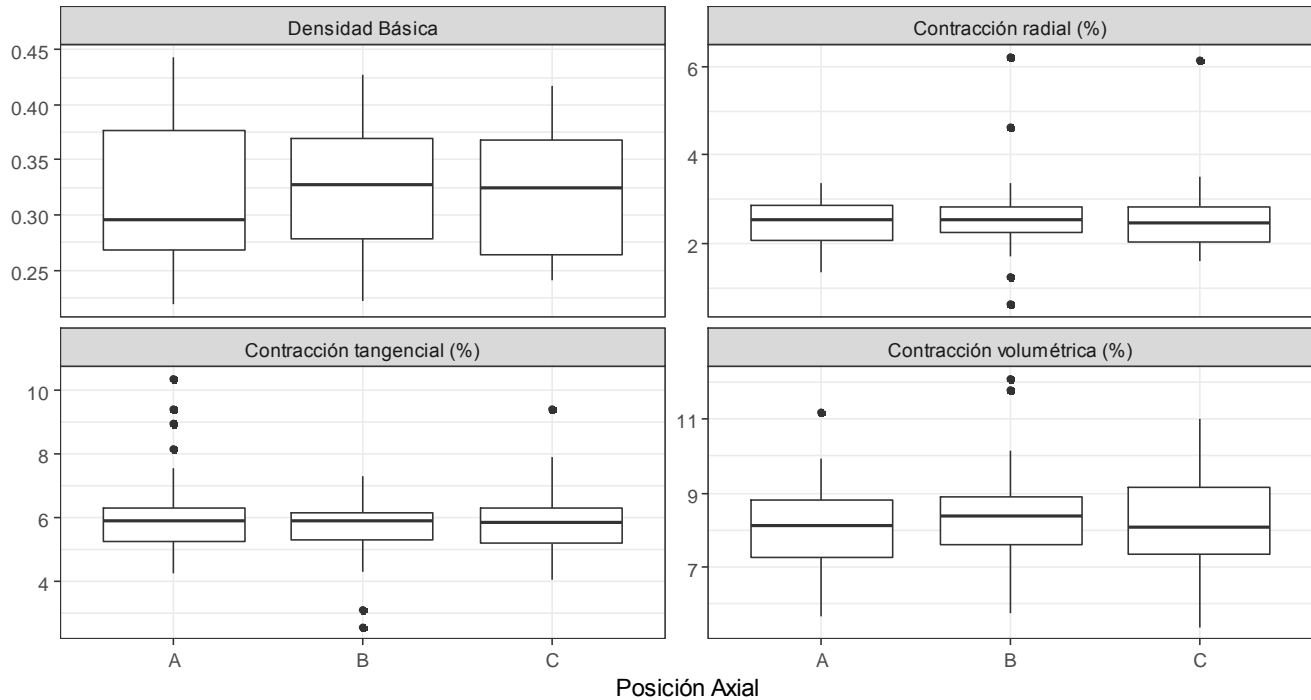
**Tabla 8: Estadísticos descriptivos de las propiedades físicas de *S. amazonicum***

| Variable | Posición | Promedio | Mínimo | Máximo | C.V   |
|----------|----------|----------|--------|--------|-------|
| DB       | Basal    | 0,32     | 0,22   | 0,444  | 21,79 |
|          | Medio    | 0,33     | 0,22   | 0,427  | 17,64 |
|          | Apical   | 0,32     | 0,24   | 0,417  | 17,06 |
|          | Promedio | 0,32     | 0,44   | 0,21   | 18,80 |
| CR (%)   | Basal    | 2,49     | 1,36   | 3,36   | 19,50 |
|          | Medio    | 2,56     | 0,63   | 6,23   | 30,50 |
|          | Apical   | 2,56     | 1,59   | 6,15   | 28,10 |
|          | Promedio | 2,54     | 0,63   | 6,22   | 26,43 |
| CT (%)   | Basal    | 5,98     | 4,26   | 10,30  | 20,20 |
|          | Medio    | 5,67     | 2,59   | 7,28   | 15,50 |
|          | Apical   | 5,87     | 4,04   | 9,37   | 17,10 |
|          | Promedio | 5,84     | 2,59   | 10,34  | 17,80 |
| CV (%)   | Basal    | 8,03     | 5,68   | 11,20  | 14,00 |
|          | Medio    | 8,33     | 5,76   | 12,10  | 14,40 |
|          | Apical   | 8,20     | 5,38   | 11,00  | 15,00 |
|          | Promedio | 8,18     | 5,38   | 12,09  | 14,50 |
| T/R      | Basal    | 2,47     | 1,56   | 3,59   | 24,04 |
|          | Medio    | 2,37     | 0,88   | 4,90   | 24,56 |
|          | Apical   | 2,39     | 1,23   | 3,45   | 23,67 |
|          | Promedio | 2,41     | 0,88   | 4,90   | 24,04 |

DB: Densidad Básica; CR: Contracción Radial; CT: Contracción Tangencial; CV: Contracción Volumétrica; T/R: Coeficiente de anisotropía.

En la Figura 17 se observa la distribución de los datos para cada variable física evaluada.

En los tres niveles axiales de cada variable física evaluada se observa que las distancias entre el cuartil 1 y el cuartil 3 son similares, lo que indica que el 50% de los datos tomados tienen un rango similar; por lo tanto los datos fueron tomados de manera adecuada.



**Figura 17: Boxplot de propiedades físicas de *S. amazonicum* por nivel axial**

A: Base; B: Intermedio; C: Ápice

En la Tabla 8 se observan el promedio, valores máximos y mínimos y coeficiente de variación de cada variable física evaluada por nivel axial del fuste. El CV de la densidad básica fue de 18,8%; contracción radial de 26,43%; contracción tangencial de 17,8% y contracción volumétrica de 15,5%; estos valores son mayores que lo indicado por Wood Handbook (1974) en; 8% (DB); 12,43% (CR) y 3,8% (CT). Por su parte Romero (2010), encontró valores muy similares a los del presente estudio, excepto en la densidad básica, la cual fue de 12,88%.

Los CV en el presente estudio pueden deberse a la naturaleza de la especie, ya que Coronel (1994) al estudiar nueve especies en Argentina, encontró algunas con propiedades físico-mecánicas con gran variación en los valores de CV, mientras que en otras especies esta variación es pequeña.

Según la prueba Kruskal-wallis (Ver Anexo 5) no se encontraron diferencias significativas entre las posiciones axiales en ninguna propiedad física. Los resultados obtenidos, pueden deberse a que las probetas ensayadas no provienen de la misma posición radial en el tronco. Por ello no se encuentra una tendencia de variación definida a lo largo del fuste.

#### **4.3.1. Densidad básica**

El comportamiento axial de la densidad básica no concuerda con lo hallado por Silva (2004) y Vidaurre (2010) quienes describen una tendencia decreciente de base a intermedio y creciente de intermedio a ápice para árboles de 7 y 11 años. Por su parte Filgueira et al. (2020) encuentra valores decrecientes en el sentido base – ápice. También se encontró tendencia decreciente de base a ápice en *Guazuma crinita* Chavesta (2019).

#### **4.3.2. Cambios dimensionales**

Las contracciones no se vieron afectadas por la posición longitudinal. La contracción radial de 2,54%, es considerada de pequeña a moderada (Fuentes-Talavera et al., 2002). Los resultados obtenidos concuerdan con lo encontrado por Silva (2004), en pino chuncho de 7 años en Brasil con espaciamiento de 4 m x 3 m, quien indica que la contracción radial en la base es de 2,30%, en el intermedio 2,30% y en el ápice 2,50%, no encontrando diferencias significativas entre los tres niveles. La misma autora, para árboles con las mismas características, reporta una contracción tangencial de 4,50% en la base, 4,60 % en el intermedio y 4,50% en el ápice, sin diferencias significativas entre los niveles, como en el presente estudio.

La contracción volumétrica hallada en la base fue de 8,03%; en el medio, de 8,33% y en el ápice, de 8,20%. Estos resultados son mayores a los encontrados por Silva (2004), 7,11% en la base, 7,34% en el medio y 7,63% en el ápice. Filgueira et al. (2020), en una plantación pura e *S. amazonicum* en Brasil, encontró una tendencia descendente en dirección base – ápice, teniendo en el primer tercio una contracción de 10,67%, en el segundo tercio 9,53%, en el tercer tercio 8,82% y en el ápice de 7,93%. Estos valores son numéricamente cercanos a los encontrados en el presente estudio.

#### **4.3.3. Coeficiente de anisotropía**

Los valores obtenidos son mayores a los encontrados por Vidaurre (2010), Romero (2010), Filgueira et al. (2020) y Mascarenhas (2021). Sin embargo, la relación T/R obtenida en el presente estudio es menor a lo encontrado por Torres (2009) en plantaciones de la misma especie en Ucayali (2,92).

En la base, la relación T/R fue de 2,47, en el medio de 2,37 y en el ápice de 2,39, sin embargo, los valores no fueron significativos entre sí.

#### **4.4. CORRELACIÓN ANATOMÍA – PROPIEDADES FÍSICAS**

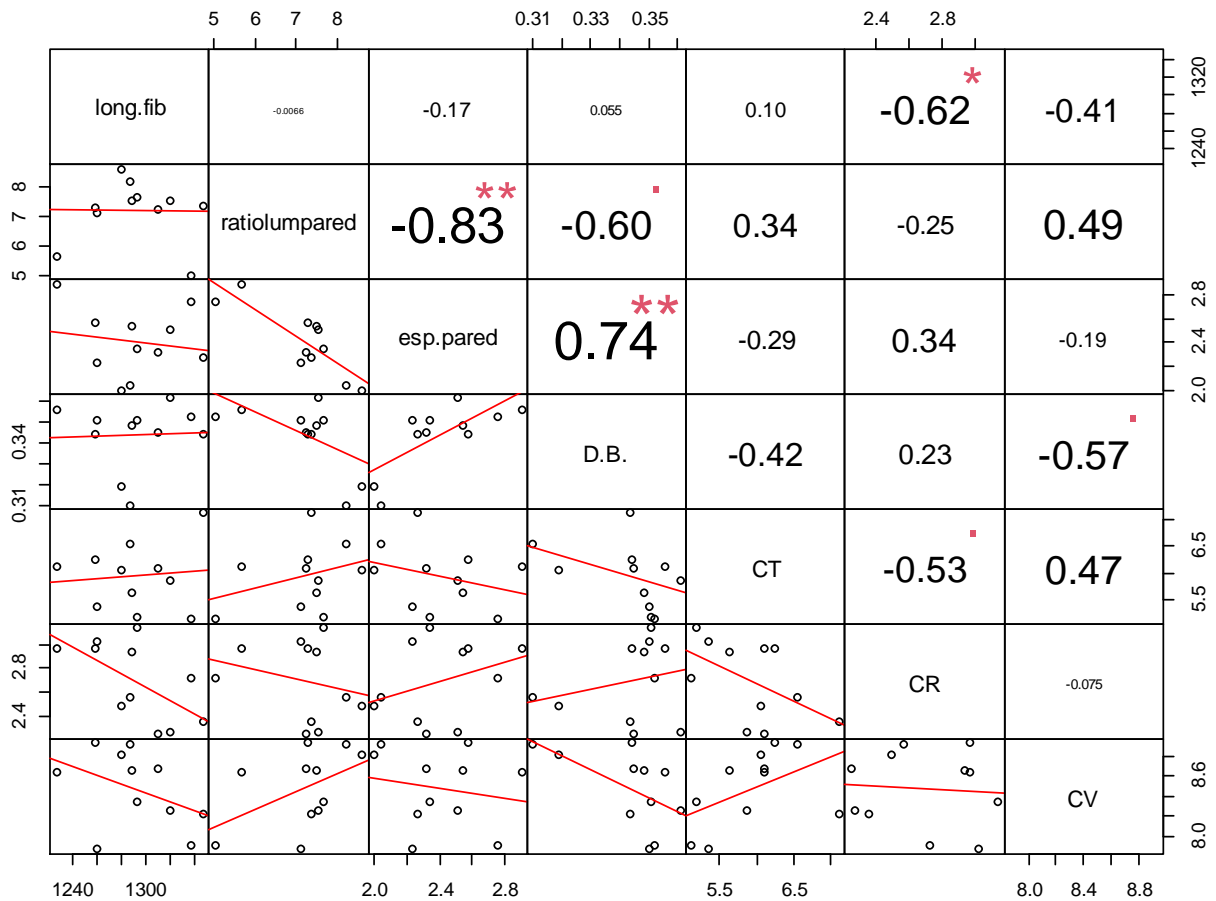
Se evaluó la correlación entre la anatomía (longitud de fibras, espesor de pared y ratio lumen-pared) y las propiedades físicas de la madera a través del coeficiente de Pearson.

Como se muestra en la Figura 19, sólo se encontraron correlaciones significativas entre espesor de pared y densidad básica; así como entre la longitud de fibras y la contracción radial.

Para la relación entre el espesor de pared y la densidad básica, se tiene un coeficiente de correlación de 0,74, esto quiere decir que existe una correlación positiva alta, ya que este valor se encuentra cercano a 1.

Con respecto a la relación longitud de fibra y contracción radial, se observa que un coeficiente de Pearson (r) de -0,62, lo que indica que la correlación es negativa medianamente fuerte. Esto quiere decir que, a mayor longitud de fibra, no necesariamente obtendremos mayor contracción radial.

Se probaron relaciones con variables como la relación ratio lumen pared. Dicho valor y el espesor de pared, poseen un coeficiente de correlación de -0,83, lo que indica que existe correlación negativa alta. Esto es explicado porque la relación lumen - pared depende directamente del espesor de pared, ya que se ha considerado la división entre el diámetro de lumen/(2\*espesor de pared) como lo indica The IAWA Committee (1989).



**Figura 18: Correlación anatomía – Propiedades Físicas**

Long.fib: longitud de fibra; ratiolumpared: ratio lumen – pared; esp.pared: espesor de pared; D.B: densidad básica; CT: contracción tangencial; CR: contracción radial; CV: contracción volumétrica

#### 4.4.1. Regresión lineal

Se realizó el análisis de regresión lineal simple entre las variables de correlación significativa. Se verificó que ambas regresiones cumplen con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, pero no con el supuesto de linealidad (Ver Anexo 6). Por lo tanto, el comportamiento de las propiedades físicas no se puede explicar por las variables anatómicas a través de una regresión lineal simple. Esto probablemente se deba a que el análisis anatómico se realizó considerando dos niveles de crecimiento (axial y radial), mientras que, por falta de material, el ensayo físico se realizó solo a nivel axial, no pudiendo comparar estadísticamente la anatomía con las propiedades físicas.

## V. CONCLUSIONES

- La madera de *Schizolobium amazonicum* es de color blanco cremoso, grano entrecruzado, poros grandes, solitarios y múltiples radiales; tiene parénquima vasicéntrico; radios homocelulares, multiseriados y fibras cortas de pared muy delgada.
- No existe un patrón definido para el comportamiento de los elementos anatómicos en sentido radial ni axial; excepto la longitud de vasos, que presenta un aumento de la médula hacia la zona intermedia, para luego mantenerse constante.
- La madera presenta densidad básica baja; contracción radial de pequeña a moderada, contracción tangencial ligeramente alta, contracción volumétrica muy baja y coeficiente de anisotropía medianamente estable. Así mismo, es importante señalar que las propiedades físicas no varían en los tres niveles axiales.
- La longitud de las fibras y el espesor de pared se correlacionan con la densidad básica y la contracción radial con  $r=-0,62$  y  $0,75$  respectivamente.



## **VI. RECOMENDACIONES**

- Evaluar la anatomía y propiedades físicas de la especie a distintas edades y con diferentes espaciamientos.
- Comparar las propiedades físicas a nivel radial, ya que en el sentido médula-corteza se podrán observar mayores diferencias.
- Realizar estudios complementarios de las propiedades mecánicas.
- Realizar estudios experimentales de fabricación de tableros contrachapados, aglomerados y OSB.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aróstegui, A. 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de Maderas Peruanas. Proyecto PNUD / FAO /PER/81/002. Documento de trabajo N° 2. Lima, Perú. 57p.
- Arroyo, J. (1983). Propiedades físico-mecánicas de la madera. Trabajo de ascenso. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida, Venezuela. 197 p.
- Barañaño, J. J., Penón, E. A., Craig, E., Cucciufo, E., & De Falco, P. (2008). Manual para la identificación de maderas con aumentos de hasta 10x. Universidad Nacional de Lujan.
- Barrance, A., Beer, J., Boshier, D. H., Chamberlain, J., Cordero, J., Detlefsen, G., Finegan, B., Galloway, G., & Gómez, M. (2003). Arboles de Centroamerica. Un Manual para extensionistas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D., & Somarriba, E. (1998). Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*. 38(1–3), 139–164. Recuperado de <https://doi.org/10.1023/A:1005956528316>
- Calvo, C. F., Cotrina, A. D., Cuffré, A. G., Piter, J. C., Stefani, P. M., & Torrán, E. A. (2006). Variación radial y axial del hinchamiento, del factor anisotrópico y de la densidad, en el *Eucalyptus grandis* de Argentina. *Maderas. Ciencia y Tecnología*. 8(3), 159–168. Recuperado de <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2006000300003>
- Cerrón-Macha, J. M., Del Castillo, J. D., Valverde-Quiroz, J. C., & Cornelius, J. P. (2018). Agroforestry species of Peru: annotated list and contribution to prioritization for genetic conservation. (No. 289).

- Chavesta, M. (2019). Caracterización de la madera de árboles de Guazuma crinita Mart., proveniente de plantaciones en Huánuco - Perú. (Tesis doctoral, Universidad Federal Do Paraná). Recuperado de <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/trabalhoConclusaoWS?idpessoal=38824&idprograma=40001016015P0&anobase=2019&idtc=1454>
- Chavesta, M., Montenegro, R., Tomazello-Filho, M., Carnerio, M., Nisgoski, S., Chavesta, M., Montenegro, R., Tomazello-Filho, M., Carnerio, M., & Nisgoski, S. (2019). Propiedades físicas en Guazuma crinita por medios convencionales y espectroscopia infrarroja cercana. *Maderas. Ciencia y Tecnología*. 21(4), 521–530. Recuperado de <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000408>
- Chávez, M. (2021). Perú y el mercado internacional de maderas que puede aprovechar. La Cámara. Revista Digital de La Cámara de Comercio de Lima. Recuperado de <https://lacamara.pe/peru-y-el-mercado-internacional-de-maderas-que-puede-aprovechar/>
- Chimelo, J.P., Alfonso, V.A. Anatomia e identificação de madeiras. In: Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo-IPT. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. São Paulo, Associação Brasileira de Preservadores de Madeira. (Boletim ABPM 36). 1985. p.
- Chuquicaja, C., Pereira, M., Klitzke, R., & Gonzales, H. (2020). Caracterización anatómica radial y axial de la madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) plantada en Chanchamayo – Perú. *Revista Ciência Da Madeira - RCM*, 11(2), 107–120. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v11n2p107-120>
- Cisternas, A. (1994). Conversion de densidades de la madera. *Ciencia e Investigación Forestal*, 8, 301–315. <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/10864/18562.pdf;jsessionid=AAED49BB432BB9D1EF5AD3BC89857AAE?sequence=1>
- Cobas, A. (2012). Modelos de variación de propiedades del leño juvenil a maduro en Salicáceas y su influencia sobre pulpas quimimécánicas. Universidad Nacional de la Plata. Recuperado de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/29492/Documento\\_completo\\_\\_.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/29492/Documento_completo__.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

- Cobas, A. C., Area, M. C., & Monteoliva, S. (2014). Patrones de variación de la densidad de la madera y morfometría celular de *Salix babylonica* para la determinación de la edad de transición entre madera juvenil y madura. *Maderas. Ciencia y Tecnología*. 16(3), 343–354. Recuperado de <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2014005000027>
- Colli, A. (2007). Caracterização da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e propriedades de chapas e partículas aglomeradas com diferentes proporções de fibras de coco (*Cocos nucifera* L.). (Tesis de maestría, Universidade Federal de Viçosa). Recuperado de [https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3178/1/texto completo.pdf](https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3178/1/texto%20completo.pdf)
- Coronel, E. (1994). Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. Instituto de Tecnología de la Madera. Serie de publicaciones 9.404. Editorial El Liberal Santiago del Estero- Argentina. 335 p.
- Coronel, E. (1994). Variación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de especies nativas y cultivadas en el chaco argentino. *Quebracho*, N° 2 pp. 14 – 20. Recuperado de [https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/q2\\_02.pdf](https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/q2_02.pdf)
- Durlo, M.; Marchiori, J. 1992. *Tecnologia da Madeira: retratibilidade*. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 33p. (Serie Técnica, 10).
- Díaz, P. (2005). Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. (Tesis de pregrado, Universidad de Talca). Recuperado de [http://dspace.utalca.cl/retrieve/6282/diaz\\_mendez.pdf](http://dspace.utalca.cl/retrieve/6282/diaz_mendez.pdf)
- Egoavil, G. I., Pereira da Rocha, M., Klitzke, R. J., & Mora, H. E. G. (2020). Caracterización anatómica y variabilidad de los componentes de la madera de *Calycophyllum spruceanum* (Benth). Hook. *Revista Ciência Da Madeira - RCM*, 11(2), 93–106. Recuperado de <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v11n2p93-106>
- Filgueira, T., Ribeiro, G., Rodrigues, W., Tavares, M., Coimbra, J., & Souza, I. (2020). Variabilidade longitudinal do lenho de *Schizolobium amazonicum* (Paricá). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. 3(3), 1667–1672. Recuperado de <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-083>

- Flores, Y. (2019). Fichas técnicas para plantaciones con especies nativas en zona de Selva Baja. In INIA. Recuperado de [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/943/1/Flores-Fichas\\_técnicas\\_para\\_plantaciones\\_con\\_especies\\_nativas\\_en\\_zona\\_de\\_Selva\\_Baja.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/943/1/Flores-Fichas_técnicas_para_plantaciones_con_especies_nativas_en_zona_de_Selva_Baja.pdf)
- Fuentes-Talavera, F. J., Silva-Guzmán, ; J A, Lomelí-Ramírez, ; M G, Richter, ; H G, & Sanjuán-Dueñas, ; R. (2002). Comportamiento higroscópico de la madera de *Persea americana* var. *guatemalensis* Mill (Hass). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 8(1), 49–56.
- Gimenez, A. M., & López, C. (2007). Variación longitudinal de los elementos del leño en *Schinopsis quebracho-colorado* (Schlecht.) Barkl. et Meyer Anacardiaceae. *Madera y Bosques*, 8(2), 27–38. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/617/61780203.pdf>
- Gimenez, A. M., Moglia, J. G., Hernandez, P., & Gerez, R. (2005). Anatomía de madera (2nd ed.). Recuperado de <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>
- Graves S, Piepho H, Dorai-Raj LSwhfS (2019). `_multcompView: Visualizations of Paired Comparisons_`. R package version 0.1-8, Recuperado de <https://CRAN.R-project.org/package=multcompView>.
- Guariguata, M. R., Arce, J., Ammour, T., & Capella, J. L. (2017). Las plantaciones forestales en Perú. In Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR). Recuperado de [https://biblioteca.spda.org.pe/biblioteca/catalogo/\\_data/20181211101959\\_Las plantaciones forestales en Peru.pdf](https://biblioteca.spda.org.pe/biblioteca/catalogo/_data/20181211101959_Las_plantaciones_forestales_en_Peru.pdf)
- H. Wickham. *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016.
- Igartúa, D., & Monteoliva, S. (2010). Densidad básica, longitud de fibras y crecimiento en dos procedencias de *Eucalyptus globulus* en Argentina. *Bosque (Valdivia)*. 31(2), 150–156. Recuperado de <https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000200008>
- Igartúa, D., Monteoliva, S., & Piter, J. (2009). Estudio de algunas propiedades físicas de la madera de *Acacia melanoxylon* en Argentina. *Maderas. Ciencia y Tecnología*. 11(1), 3–18. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/maderas/v11n1/art01.pdf>
- John Fox and Sanford Weisberg (2019). *An {R} Companion to Applied Regression*, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. Recuperado de <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>

- Jozsa, L.A.; Middleton, G.R. (1997). Les caractéristiques déterminant la qualité du bois: Nature et conséquences pratiques. Forintek Canada Corp. Publication spéciale SP-34F. 42 p.
- Justiniano, M., Pariona, W., Fredericksen, T., & Nash, D. (2001). Ecología de Especies Menos Conocidas. Serebó o Sombrerillo (*Schizolobium parahyba*). In Proyecto BOLFOR. Recuperado de [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/pnacw358.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnacw358.pdf)
- León, W., & Espinoza de Pernía, N. (1998). Variabilidad de la madera de *Cordia thaisiana* (Boraginaceae) en sentido transversal. *Rev. Forest. Venez.* 42(1), 15–23. Recuperado de [http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/24247/articulo42\\_1\\_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/24247/articulo42_1_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- León, W. & Espinoza, N. (2001). Anatomía de la madera. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. Recuperado de <https://vdocuments.mx/anatomia-de-la-madera-leon-espinoza-de-pernia-2001.html>
- Lluncor (2012). Estudio de la Estructura Anatómica de Diez Especies Maderables Potenciales de Bosques Secundarios y Primarios Residuales. (Informe Técnico). Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral (AIDER), Lima, Perú. Recuperado de <https://www.aider.com.pe/pdf/Ucayali/ITTO/Informe%20tecnico%20estructura%20anatomica.pdf>.
- Londoño, A. (2006). Apuntes para el curso de Anatomía y Tecnología de maderas. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima. Recuperado de [https://www.academia.edu/34754638/Apuntes\\_anatomia\\_pdf](https://www.academia.edu/34754638/Apuntes_anatomia_pdf)
- López, N., Ruales, G., Celi, H., & Jiménez, H. (2015). Trabajabilidad de madera *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake y diseño de un mueble prototipo con madera de pequeñas dimensiones. *Bosques Latitud Cero.* 5(2), 1 - 12. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/291345018\\_Trabajabilidad\\_de\\_madera\\_de\\_Schizolobium\\_parahyba](https://www.researchgate.net/publication/291345018_Trabajabilidad_de_madera_de_Schizolobium_parahyba)
- Mascarenhas, A., Scoti, M. S., de Melo, R., de Oliveira Correa, F., de Souza, E. F., & Pimenta, A. . (2021). Characterization of wood from *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber × *Ducke* trees from a multi-stratified agroforestry system established in the Amazon rainforest. *Agroforestry Systems.* 95(3), 475–486. Recuperado de [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10457-020-00576-5\(0123456789\(\).,-volV\)\(01234567](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10457-020-00576-5(0123456789().,-volV)(01234567). DOI: 10.1007/s10457-020-00576-5.

- Medina, A., Dionisio, N., Laffitte, L., Andía, I., & Rivera, S. (2013). Variación radial y axial de longitud de fibras y elementos de vaso en *Nothofagus nervosa* (Nothofagaceae) de la Patagonia Argentina. *Madera y Bosques*. 19(2). Recuperado de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S14054712013000200001&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S14054712013000200001&script=sci_arttext)
- Mendiburu F (2021). *\_agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research\_*. R package version 1.3-5, Recuperado de <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.
- Moglia, J., & Lopez, C. (2001). Variabilidad radial de algunos caracteres anatómicos de *Aspidosperma quebracho blanco*. *Bosque*. 22(2), 3–14. Recuperado de <http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v22n2/art01.pdf>
- Monteoliva, S., Senisterra, G., Marquina, J., Marlats, R., Villegas, S., & Uk, A. (2002). Estudio de la variación de la densidad básica de la madera de ocho clones de sauce (*Salix* spp.). *Rev. Fac. Agron.* 105(1), 77–82.
- Panshin, A., De Zeeuw, C. (1980). *Textbook of wood technology. Structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada*. 4a. edición. New York: McGraw-Hill.
- Pecho, R., Ananias, R. A., Ballerini, A., & Cloutier, A. (2005). Influencia de la madera juvenil de pino radiata sobre las propiedades físicas y mecánicas de tableros OSB. *Bosque (Valdivia)*. 26(1), 123–132. Recuperado de <https://doi.org/10.4067/S0717-92002005000100012>
- Ponce, R. H. (1984). Produção de madeira de qualidade para processamento mecânico. *Silvicultura, São Paulo*. v. 9, n. 34, p. 9-13.
- Reynel, C., Pennington, T., Pennington, R., Flores, C., & Daza, A. (2003). Árboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos. Recuperado de <http://cdc.lamolina.edu.pe/treediversity/ARBOLES UTILES de la amzonia.htm>.
- Reynel, C. Pennington, T.D. & Pennington. R.T. (2016). *Árboles del Perú*. Imprenta Bellido. Lima, Perú. ISBN 987-612-00-2232-0. 1047 pp.
- Romero, B. (2010). Anatomía y propiedades físicas de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke. y *Tectona grandis* Linn F. - Satipo. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú. Recuperado de

- <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2589/RomeroVilcapoma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Santiago, P., Guevara, C., & Espinoza, M. (2013). Manual de transformación de la madera. Recuperado de [http://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2929/Technical/Technical report - Manual de transformacion de la madera.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical%20report%20-%20Manual%20de%20transformacion%20de%20la%20madera.pdf)
- SERFOR. (2021). Estrategia para la promoción de plantaciones forestales comerciales 2021 - 2050. MINAGRI. Recuperado de [www.gob.pe/serforwww.gob.pe/midagri](http://www.gob.pe/serforwww.gob.pe/midagri)
- Sette Jr, C. R., Oliveira, I. R. de, Tomazello Filho, M., Yamaji, F. M., & Laclau, J. P. (2012). Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*. 36(6), 1183–1190. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000600019>
- Shimoyama, V. R. De S., & Barrichelo, L. E. (1989). Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. *Série Técnica IPEF*. 6(20), 1–22.
- Silva, J. (2004). Características anatômicas e físicas da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. ducke), plantado em diferentes espaçamentos e condições ambientais no município de aurora do Pará - PA. UFRA. (Tesis de maestría, Universidade Federal Rural da Amazônia. Recuperado de [repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/297](http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/297)
- Silveira, M., Pinto, D., Arizapana, M., & Tomazello, M. (2012). Qualidade do Lenho de Árvores de *Schizolobium parahyba* VAR. *amazonicum*, Acre, Brasil. *Floresta e Ambiente*. 19(3), 374–384. Recuperado de <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.044>
- Sotomayor, J. (2005). Características mecánicas y clasificación de 150 especies de maderas Mexicanas. *Investigación e Ingeniería de La Madera*. 1(1), 3–22. Recuperado de [https://www.academia.edu/6528926/Características\\_mecánicas\\_y\\_clasificación\\_de\\_150\\_especies\\_de\\_maderas\\_Mexicanas](https://www.academia.edu/6528926/Características_mecánicas_y_clasificación_de_150_especies_de_maderas_Mexicanas)
- Sotomayor, J., & Ramírez, M. (2014). Características físicas de 12 maderas mexicanas. *Investigación e Ingeniería de La Madera*, 10(1), 1–35.
- Spavento, E., Keil, G., & Monteoliva, S. (2008). Propiedades físicas de la madera (p. 29). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de la Plata. Recuperado



- de [https://drive.google.com/file/d/1Sb1cd-\\_QbTa4NkxHP3w9C4EKWQt\\_8dLn/view?ts=62df0201&pli=1](https://drive.google.com/file/d/1Sb1cd-_QbTa4NkxHP3w9C4EKWQt_8dLn/view?ts=62df0201&pli=1)
- Suckow, I., Longui, E., Lima, I., Florsheim, S., & Aguiar, O. (2009). Anatomia da madeira e densidade básica de angico-branco- *Anadenanthera acolubrina* (Vell.)Brenan. In IF Sér. Reg: Vol. n. 40.
- Suirezs, T., & Berger, G. (2009). Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Universitaria de Misiones. Recuperado de [https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos\\_digitales/f5\\_978-950-579-154-5.pdf](https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/f5_978-950-579-154-5.pdf)
- Tamarit-Urias, J., & Fuentes-Salinas, M. (2003). Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 9(2), 155–164. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/237038019\\_PARAMETROS\\_DE\\_HUMEDAD\\_DE\\_63\\_MADERAS\\_LATIFOLIADAS\\_MEXICANAS\\_EN\\_FUNCION\\_DE\\_SU\\_DENSIDAD\\_BASICA](https://www.researchgate.net/publication/237038019_PARAMETROS_DE_HUMEDAD_DE_63_MADERAS_LATIFOLIADAS_MEXICANAS_EN_FUNCION_DE_SU_DENSIDAD_BASICA)
- Tenorio, C., & Moya, R. (2018). *Evaluation of wood properties of four ages of Cedrela odorata trees growing in agroforestry systems with Theobroma cacao in Costa Rica. Agroforestry Systems*. 93(3), 973–988. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/S10457-018-0194-X>
- The IAWA Committee. (1989). IAWA list of microscopic features for hardwood identification with an Appendix on non-anatomical information IAWA Committee. In *IAWA Bulletin n. s* (Vol. 10, Issue 3, pp. 219–332).
- Torres, F. de L. (2009). Evaluación de las propiedades físico mecánicas de la especie Pino chuncho (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) proveniente de plantaciones del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt-Ucayali. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/439/K50.T6-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Umerez, H. (2015). Análisis de propiedades físicas de la madera de *Populus euramericana* y *Pinus pinaster* tras tratamientos de oleotermia. Universidad de Valladolid. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/11151/TFM-L205.pdf?sequence=1>

- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1974. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Forest Service. Forest Products Laboratory. General Technical Report N°72. Wisconsin. 389 p
- Vidaurre, G. B. (2010). Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica. Recuperado de <http://www.livrosgratis.com.br>
- Vidaurre, G. B., Vital, B. R., Colodette, J. L., Oliveira, A. de C., da Silva, J. G. M., Moulin, J. C., & Soranso, D. R. (2018). Anatomical and chemical properties of Juvenile *Schizolobium amazonicum* wood. *Revista Arvore*. 42(3). Recuperado de <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000300001>
- Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.
- Wickham et al., (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. Recuerado de <https://doi.org/10.21105/joss.01686>
- Wickham H, Girlich M (2022). `_tidyr: Tidy Messy Data_`. R package version 1.2.0. Recuperado de <https://CRAN.R-project.org/package=tidyr>.
- Wickham H, François R, Henry L, Müller K (2022). `_dplyr: A Grammar of Data Manipulation_`. R package version 1.0.9. Recuperado de <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.
- Wodzicki T.J. 2001. Natural factors affecting wood structure. *Wood Science and Technology* 35:5-26. DOI: 10.1007/s002260100085
- Zobel B.J., Van Buijtenen J.P. (1989). *Wood Variation – Its Causes and Control*, Springer Series in Wood Science. Timell T.E. (Ed.). Springer-Verlag. 363 p.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1. TABLA PROMEDIOS ANATOMÍA

| Árbol | Posición axial | Posición radial | Elementos vasculares |          |                    | Radios |       |               |             |          | Fibras   |          |               |               |
|-------|----------------|-----------------|----------------------|----------|--------------------|--------|-------|---------------|-------------|----------|----------|----------|---------------|---------------|
|       |                |                 | Diámetro tangencial  | Longitud | n°/mm <sup>2</sup> | altura | ancho | n° cel altura | n° cel anch | n°cel/mm | Diámetro | Longitud | Espesor lumen | Espesor pared |
| 1     | A              | 1               | 166.79               | 226.8756 | 2.08               | 264.52 | 36.88 | 15.12         | 2.8         | 6.68     | 38.49    | 984.35   | 33.44         | 2.53          |
| 1     | A              | 2               | 210.31               | 226.4955 | 1.76               | 607.39 | 37.16 | 13.6          | 3           | 5.84     | 35.62    | 1300.58  | 29.77         | 2.92          |
| 1     | A              | 3               | 225.96               | 194.4987 | 1.32               | 254.07 | 35.66 | 13.96         | 3.96        | 4.92     | 35.26    | 1394.05  | 28.76         | 3.25          |
| 1     | B              | 1               | 188.77               | 239.0727 | 1.4                | 273.82 | 33.43 | 14.6          | 2.76        | 5.28     | 40.95    | 1277.88  | 35.61         | 2.67          |
| 1     | B              | 2               | 264.89               | 273.9386 | 1.08               | 278.49 | 35.37 | 15.76         | 2.88        | 4.88     | 44.32    | 1255.45  | 39.72         | 2.30          |
| 1     | B              | 3               | 261.16               | 265.149  | 1.52               | 402.88 | 32.25 | 15            | 2.6         | 4.64     | 37.90    | 1331.18  | 32.55         | 2.67          |
| 1     | C              | 1               | 230.37               | 213.1124 | 1.48               | 291.13 | 30.49 | 14            | 3.4         | 4.84     | 42.79    | 1083.97  | 38.15         | 2.32          |
| 1     | C              | 2               | 243.97               | 264.1529 | 1.36               | 283.43 | 30.29 | 14.24         | 2.84        | 5.12     | 38.99    | 1321.25  | 33.41         | 2.79          |
| 1     | C              | 3               | 247.90               | 253.6733 | 1.16               | 752.83 | 78.08 | 15.12         | 2.88        | 5.12     | 40.32    | 1371.02  | 35.12         | 2.60          |
| 2     | A              | 1               | 141.58               | 164.7819 | 2.32               | 271.90 | 37.53 | 13.72         | 3.92        | 5.96     | 34.50    | 1266.17  | 29.39         | 2.55          |
| 2     | A              | 2               | 218.18               | 170.455  | 2.36               | 258.16 | 43.85 | 13.68         | 3.92        | 4.72     | 33.86    | 1363.29  | 28.16         | 2.85          |
| 2     | A              | 3               | 190.92               | 192.4511 | 1.92               | 262.53 | 49.86 | 12.76         | 3.92        | 4.64     | 27.26    | 1382.19  | 21.56         | 2.85          |
| 2     | B              | 1               | 170.16               | 170.0914 | 1.96               | 241.30 | 36.14 | 13.32         | 3.52        | 5.2      | 37.70    | 1248.69  | 33.14         | 2.28          |
| 2     | B              | 2               | 247.07               | 171.4713 | 1.24               | 330.53 | 32.41 | 15.2          | 3.64        | 4.04     | 39.06    | 1364.95  | 34.27         | 2.40          |
| 2     | B              | 3               | 251.22               | 173.2989 | 1.08               | 289.42 | 46.86 | 14.2          | 3.8         | 4.56     | 39.43    | 1264.12  | 34.74         | 2.35          |
| 2     | C              | 1               | 183.20               | 167.5361 | 1.6                | 319.40 | 32.88 | 15.6          | 3.04        | 5.56     | 32.80    | 1248.05  | 28.67         | 2.07          |
| 2     | C              | 2               | 231.61               | 203.1251 | 1.68               | 251.06 | 26.54 | 15.36         | 3.16        | 5        | 37.67    | 1306.83  | 33.18         | 2.25          |
| 2     | C              | 3               | 213.61               | 210.9476 | 1.52               | 306.86 | 40.28 | 15.64         | 3.32        | 5.52     | 32.48    | 1223.87  | 27.71         | 2.38          |
| 3     | A              | 1               | 205.87               | 233.3537 | 1.44               | 248.02 | 34.72 | 16.6          | 3.08        | 5.8      | 38.70    | 1228.36  | 34.41         | 2.14          |
| 3     | A              | 2               | 230.63               | 257.1611 | 1.52               | 334.33 | 42.90 | 17.52         | 3.28        | 6        | 37.54    | 1367.40  | 33.11         | 2.21          |
| 3     | A              | 3               | 227.29               | 246.3304 | 1.72               | 374.01 | 44.02 | 18.24         | 3.76        | 5.44     | 30.57    | 1444.84  | 25.68         | 2.45          |

|   |   |   |        |          |      |        |       |       |      |      |       |         |       |      |
|---|---|---|--------|----------|------|--------|-------|-------|------|------|-------|---------|-------|------|
| 3 | B | 1 | 250.47 | 229.0863 | 1.44 | 350.25 | 30.75 | 19.68 | 3.4  | 5.64 | 40.57 | 1250.02 | 35.90 | 2.34 |
| 3 | B | 2 | 263.35 | 256.804  | 1.2  | 424.14 | 23.71 | 21.36 | 3.12 | 5.36 | 41.38 | 1348.44 | 36.52 | 2.43 |
| 3 | B | 3 | 288.29 | 260.0421 | 1.08 | 409.35 | 25.58 | 17.44 | 3.04 | 5.28 | 40.13 | 1358.64 | 34.61 | 2.76 |
| 3 | C | 1 | 253.95 | 220.7744 | 1.4  | 524.52 | 34.88 | 23.12 | 3.2  | 6.24 | 36.77 | 1242.96 | 32.73 | 2.02 |
| 3 | C | 2 | 263.86 | 264.8304 | 1.16 | 420.78 | 31.22 | 20.48 | 3.2  | 5.2  | 39.67 | 1340.47 | 35.06 | 2.30 |
| 3 | C | 3 | 274.18 | 284.1694 | 1.24 | 302.40 | 26.41 | 16.56 | 2.84 | 5.48 | 32.25 | 1345.64 | 26.98 | 2.63 |
| 4 | A | 1 | 131.00 | 192.9839 | 2.28 | 280.36 | 24.98 | 14.72 | 2.52 | 7.32 | 32.46 | 1079.57 | 28.43 | 2.01 |
| 4 | A | 2 | 153.18 | 263.8158 | 1.6  | 235.27 | 34.39 | 14.28 | 3.12 | 5.08 | 36.56 | 1444.30 | 31.97 | 2.29 |
| 4 | A | 3 | 200.38 | 268.2333 | 1.48 | 257.79 | 27.81 | 14.24 | 3.28 | 4.84 | 32.89 | 1442.28 | 27.69 | 2.60 |
| 4 | B | 1 | 150.30 | 237.6298 | 2.8  | 308.19 | 30.30 | 21.44 | 2.56 | 6.24 | 36.10 | 1100.14 | 31.58 | 2.26 |
| 4 | B | 2 | 210.22 | 285.9088 | 1.32 | 277.53 | 28.17 | 16.56 | 2.88 | 5.32 | 40.07 | 1298.89 | 35.59 | 2.24 |
| 4 | B | 3 | 241.25 | 243.63   | 1.24 | 309.15 | 23.11 | 19.36 | 2.4  | 5.04 | 41.50 | 1379.78 | 37.01 | 2.25 |
| 4 | C | 1 | 187.60 | 181.5385 | 2.04 | 342.48 | 27.93 | 17.48 | 2.8  | 6.12 | 39.63 | 1110.15 | 35.74 | 1.94 |
| 4 | C | 2 | 218.50 | 283.4822 | 2.36 | 303.66 | 22.52 | 18    | 2.4  | 5.6  | 42.48 | 1278.35 | 38.39 | 2.04 |
| 4 | C | 3 | 217.58 | 254.7682 | 1.2  | 317.99 | 22.81 | 14.92 | 2.52 | 5.96 | 41.10 | 1329.95 | 37.04 | 2.03 |
| 5 | A | 1 | 175.70 | 191.311  | 2.12 | 264.15 | 27.71 | 15.88 | 2.76 | 6.84 | 40.88 | 1138.53 | 36.86 | 2.01 |
| 5 | A | 2 | 242.12 | 229.2883 | 1.6  | 258.92 | 24.82 | 16.32 | 2.72 | 7.12 | 42.73 | 1364.79 | 38.34 | 2.20 |
| 5 | A | 3 | 199.38 | 225.8673 | 1.48 | 292.62 | 27.41 | 15.96 | 3.32 | 5.44 | 34.61 | 1541.42 | 30.04 | 2.29 |
| 5 | B | 1 | 167.82 | 187.0263 | 1.68 | 290.06 | 17.94 | 18.4  | 2.56 | 6.88 | 37.44 | 1247.55 | 33.71 | 1.87 |
| 5 | B | 2 | 245.03 | 212.471  | 1.2  | 319.35 | 22.96 | 17.16 | 2.48 | 5.36 | 39.93 | 1305.59 | 36.16 | 1.89 |
| 5 | B | 3 | 252.76 | 180.3191 | 1.24 | 284.44 | 33.64 | 16.68 | 3.44 | 5    | 31.71 | 1284.15 | 27.22 | 2.25 |
| 5 | C | 1 | 223.89 | 255.6561 | 1.12 | 315.45 | 22.78 | 17.76 | 2.64 | 5.08 | 38.15 | 1235.94 | 34.54 | 1.80 |
| 5 | C | 2 | 247.65 | 217.3072 | 1.36 | 339.57 | 20.45 | 17.8  | 2.2  | 5.28 | 36.84 | 1348.73 | 32.96 | 1.94 |
| 5 | C | 3 | 252.34 | 176.8905 | 1.48 | 313.75 | 28.56 | 17.28 | 2.44 | 5.24 | 29.21 | 1277.65 | 24.42 | 2.39 |

## ANEXO 2. TABLA PROMEDIOS PROPIEDADES FÍSICAS

| Árbol    | Posición axial | Dimensiones saturadas |       |        |       | Peso húmedo | Dimensiones secas |       |        |       | Peso seco | Contenido de humedad | Contracciones |      |      |      | Densidad básica | T/R  |
|----------|----------------|-----------------------|-------|--------|-------|-------------|-------------------|-------|--------|-------|-----------|----------------------|---------------|------|------|------|-----------------|------|
|          |                | Tg                    | Rd    | Long   | Vol   |             | Tg                | Rd    | Long   | Vol   |           |                      | Tg            | Rd   | Long | Vol  |                 |      |
| 1        | A              | 29.82                 | 30.09 | 100.68 | 89.58 | 54.71       | 28.00             | 29.20 | 100.48 | 81.84 | 31.83     | 72.50                | 6.11          | 2.97 | 0.20 | 8.64 | 0.36            | 2.08 |
| 1        | B              | 29.85                 | 30.12 | 100.63 | 89.32 | 51.44       | 28.17             | 29.24 | 100.46 | 81.58 | 31.11     | 64.92                | 5.63          | 2.93 | 0.17 | 8.66 | 0.35            | 1.92 |
| 1        | C              | 29.61                 | 30.15 | 100.71 | 88.85 | 49.44       | 27.76             | 29.25 | 100.59 | 80.91 | 30.58     | 61.20                | 6.24          | 2.96 | 0.21 | 8.93 | 0.34            | 2.14 |
| Promedio |                | 29.76                 | 30.12 | 100.67 | 89.25 | 51.87       | 27.97             | 29.23 | 100.51 | 81.44 | 31.17     | 66.21                | 5.99          | 2.96 | 0.19 | 8.74 | 0.35            | 2.04 |
| 2        | A              | 30.04                 | 30.28 | 100.70 | 90.28 | 56.09       | 28.50             | 29.46 | 100.47 | 83.14 | 31.75     | 73.86                | 5.13          | 2.73 | 0.23 | 7.91 | 0.35            | 1.88 |
| 2        | B              | 30.00                 | 30.24 | 100.61 | 89.93 | 62.35       | 28.44             | 29.29 | 100.43 | 82.43 | 31.54     | 95.69                | 5.19          | 3.14 | 0.17 | 8.35 | 0.35            | 1.80 |
| 2        | C              | 29.82                 | 30.23 | 100.60 | 88.64 | 56.09       | 28.21             | 29.31 | 100.41 | 81.67 | 31.04     | 79.79                | 5.36          | 3.02 | 0.18 | 7.86 | 0.35            | 1.86 |
| Promedio |                | 29.95                 | 30.25 | 100.63 | 89.62 | 58.18       | 28.38             | 29.35 | 100.44 | 82.41 | 31.44     | 83.12                | 5.23          | 2.96 | 0.20 | 8.04 | 0.35            | 1.85 |
| 3        | A              | 30.08                 | 30.24 | 100.77 | 90.54 | 65.04       | 27.94             | 29.53 | 100.57 | 83.10 | 31.12     | 110.04               | 7.11          | 2.35 | 0.19 | 8.21 | 0.34            | 3.00 |
| 3        | B              | 30.16                 | 30.26 | 100.66 | 90.88 | 59.61       | 28.39             | 29.58 | 100.51 | 83.36 | 32.83     | 79.35                | 5.86          | 2.27 | 0.16 | 8.26 | 0.36            | 2.68 |
| 3        | C              | 29.91                 | 30.18 | 100.73 | 89.82 | 62.74       | 28.09             | 29.50 | 100.53 | 82.04 | 30.94     | 103.18               | 6.09          | 2.25 | 0.19 | 8.67 | 0.34            | 2.74 |
| Promedio |                | 30.05                 | 30.23 | 100.72 | 90.41 | 62.46       | 28.14             | 29.53 | 100.54 | 82.83 | 31.63     | 97.52                | 6.35          | 2.29 | 0.18 | 8.38 | 0.35            | 2.81 |
| 4        | A              | 29.81                 | 29.98 | 100.81 | 89.20 | 47.93       | 28.24             | 29.39 | 100.57 | 82.93 | 23.53     | 105.26               | 5.29          | 1.98 | 0.24 | 7.03 | 0.26            | 2.71 |
| 4        | B              | 29.80                 | 30.02 | 100.79 | 89.28 | 44.29       | 28.13             | 29.42 | 100.63 | 82.52 | 21.90     | 101.21               | 5.61          | 1.97 | 0.16 | 7.57 | 0.25            | 3.01 |
| 4        | C              | 30.21                 | 30.52 | 100.62 | 91.55 | 36.48       | 28.66             | 29.92 | 100.44 | 85.50 | 23.58     | 54.68                | 5.13          | 2.00 | 0.18 | 6.61 | 0.26            | 2.58 |
| Promedio |                | 29.94                 | 30.17 | 100.74 | 90.01 | 42.90       | 28.34             | 29.58 | 100.55 | 83.65 | 23.00     | 87.05                | 5.34          | 1.98 | 0.19 | 7.07 | 0.26            | 2.76 |
| 5        | A              | 30.08                 | 30.35 | 100.77 | 90.95 | 43.87       | 28.19             | 29.62 | 100.55 | 83.34 | 24.29     | 81.85                | 6.26          | 2.40 | 0.22 | 8.36 | 0.27            | 2.67 |
| 5        | B              | 29.98                 | 30.32 | 100.65 | 90.44 | 57.57       | 28.16             | 29.56 | 100.48 | 82.46 | 28.83     | 99.50                | 6.05          | 2.49 | 0.16 | 8.82 | 0.32            | 2.46 |
| 5        | C              | 30.24                 | 30.24 | 100.84 | 90.72 | 52.09       | 28.27             | 29.47 | 100.62 | 82.63 | 28.14     | 85.92                | 6.53          | 2.56 | 0.22 | 8.91 | 0.31            | 2.62 |
| Promedio |                | 30.10                 | 30.30 | 100.75 | 90.70 | 51.18       | 28.21             | 29.55 | 100.55 | 82.81 | 27.09     | 89.09                | 6.28          | 2.49 | 0.20 | 8.70 | 0.30            | 2.58 |

### ANEXO 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO – ANATOMÍA

#### DIAMETRO DE PORO

mod\_diam\_poro <- lm(diam\_poro^0.8 ~ pos\_ax\*pos\_rad, data = df)

Normalidad: Con corrección en el modelo P-value = 0.1012

Homocedasticidad: P-value = 0.4399

Anova:

|                | Df   | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)       |
|----------------|------|--------|---------|---------|--------------|
| pos_ax         | 2    | 25600  | 12800   | 75.074  | < 2e-16 ***  |
| pos_rad        | 2    | 40528  | 20264   | 118.850 | < 2e-16 ***  |
| pos_ax:pos_rad | 4    | 6260   | 1565    | 9.178   | 2.69e-07 *** |
| Residuals      | 1116 | 190279 | 171     |         |              |

Tukey para la interacción:

\$pos\_ax

C B A

"a" "a" "b"

\$pos\_rad

3 2 1

"a" "a" "b"

\$`pos\_ax:pos\_rad`

B:3 B:2 C:2 C:3 C:1 A:2 A:3 B:1 A:1

"a" "a" "a" "a" "b" "b" "b" "c" "d"

|   | pos_ax | pos_rad | mean(diam_poro) |
|---|--------|---------|-----------------|
| 1 | A      | 1       | 164.1877        |
| 2 | A      | 2       | 210.8848        |
| 3 | A      | 3       | 208.7852        |
| 4 | B      | 1       | 185.5025        |
| 5 | B      | 2       | 246.1115        |
| 6 | B      | 3       | 258.9354        |

|   |   |   |          |
|---|---|---|----------|
| 7 | C | 1 | 215.8017 |
| 8 | C | 2 | 241.1206 |
| 9 | C | 3 | 241.1230 |

**LONGITUD DE VASO**

mod\_Long\_vasos <- lm(Long\_vasos^0.65 ~ pos\_ax\*pos\_rad, data = df)

Normalidad: P-value = 0.1008

Homocedasticidad: P-value= 0.12

Anova:

|                | Df   | Sum Sq  | Mean Sq | F value | Pr(>F)       |
|----------------|------|---------|---------|---------|--------------|
| pos_ax         | 2    | 23898   | 11949   | 2.059   | 0.128        |
| pos_rad        | 2    | 191921  | 95960   | 16.534  | 8.39e-08 *** |
| pos_ax:pos_rad | 4    | 12373   | 3093    | 0.533   | 0.712        |
| Residuals      | 1116 | 6477192 | 5804    |         |              |

Nuevo modelo: mod\_Long\_vasos <- aov(Long\_vasos^0.65 ~ pos\_rad, data = df)

Fit: aov(formula = Long\_vasos^0.65 ~ pos\_rad, data = df)

\$pos\_rad

|     | diff       | lwr        | upr       | p adj     |
|-----|------------|------------|-----------|-----------|
| 2-1 | 2.9413643  | 1.6489737  | 4.2337549 | 0.0000003 |
| 3-1 | 1.9594899  | 0.6670993  | 3.2518805 | 0.0011317 |
| 3-2 | -0.9818744 | -2.2742650 | 0.3105162 | 0.1757546 |

\$pos\_rad

2 3 1

"a" "a" "b"

**LONGITUD DE FIBRA**

Normalidad: p-value = 0.1063 (Si)

Homocedasticidad: p = 0.46378 (Si)

Anova:

|                | Df   | Sum Sq   | Mean Sq | F value | Pr(>F)       |
|----------------|------|----------|---------|---------|--------------|
| pos_ax         | 2    | 390861   | 195431  | 6.914   | 0.00104 **   |
| pos_rad        | 2    | 6765930  | 3382965 | 119.689 | < 2e-16 ***  |
| pos_ax:pos_rad | 4    | 1586298  | 396575  | 14.031  | 3.57e-11 *** |
| Residuals      | 1116 | 31543445 | 28265   |         |              |

Tukey para la interacción:

\$pos\_ax

A B C

"a" "ab" "b"

\$pos\_rad

3 2 1

"a" "a" "b"

\$`pos\_ax:pos\_rad`

A:3 A:2 B:3 C:2 B:2 C:3 B:1 C:1 A:1

"a" "b" "b" "b" "b" "b" "c" "cd" "d"

|   | pos_ax | pos_rad | mean(long_fibr) |
|---|--------|---------|-----------------|
| 1 | A      | 1       | 1139.396        |
| 2 | A      | 2       | 1368.070        |
| 3 | A      | 3       | 1440.956        |
| 4 | B      | 1       | 1224.856        |
| 5 | B      | 2       | 1314.664        |
| 6 | B      | 3       | 1323.573        |
| 7 | C      | 1       | 1184.213        |
| 8 | C      | 2       | 1319.127        |
| 9 | C      | 3       | 1309.627        |

**DIAMETRO DE FIBRA**



```
mod_diam_fibr <- aov(diam_fibr^0.8 ~ pos_ax*pos_rad, data = df)
```

Normalidad: p-value = 0.394

Homocedasticidad: p = 0.39714

Anova:

|                | Df   | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)       |
|----------------|------|--------|---------|---------|--------------|
| pos_ax         | 2    | 402    | 200.96  | 21.803  | 5.14e-10 *** |
| pos_rad        | 2    | 480    | 239.87  | 26.025  | 8.98e-12 *** |
| pos_ax:pos_rad | 4    | 97     | 24.32   | 2.638   | 0.0326 *     |
| Residuals      | 1116 | 10286  | 9.22    |         |              |

Tukey en la interacción:

\$pos\_ax

B C A

"a" "b" "c"

\$pos\_rad

2 1 3

"a" "a" "b"

\$`pos\_ax:pos\_rad`

B:2 C:2 B:1 B:3 C:1 A:2 A:1 C:3 A:3

"a" "ab" "ab" "ab" "abc" "bc" "bc" "cd" "d"

pos\_ax pos\_rad mean(diam\_fibr)

|   |   |   |          |
|---|---|---|----------|
| 1 | A | 1 | 37.00368 |
| 2 | A | 2 | 37.25992 |
| 3 | A | 3 | 32.12000 |
| 4 | B | 1 | 38.55020 |
| 5 | B | 2 | 40.95417 |
| 6 | B | 3 | 38.13174 |
| 7 | C | 1 | 38.02790 |
| 8 | C | 2 | 39.12889 |
| 9 | C | 3 | 35.07059 |

### **ESPEJOR DE PARED**

mod\_esp\_pared <- aov(log(esp\_pared) ~ pos\_ax\*pos\_rad, data = df)

Normalidad: p-value = 0.1962

Homocedasticidad: p = 0.22014

Anova:

|                | Df   | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)       |
|----------------|------|--------|---------|---------|--------------|
| pos_ax         | 2    | 11.3   | 5.645   | 17.276  | 4.08e-08 *** |
| pos_rad        | 2    | 20.5   | 10.243  | 31.346  | 5.69e-14 *** |
| pos_ax:pos_rad | 4    | 3.8    | 0.941   | 2.879   | 0.0218 *     |
| Residuals      | 1116 | 364.7  | 0.327   |         |              |

Tukey de la interacción:

\$pos\_ax

A B C

"a" "b" "c"

\$pos\_rad

3 2 1

"a" "b" "c"

\$`pos\_ax:pos\_rad`

A:3 A:2 B:3 C:3 B:1 B:2 C:2 A:1 C:1

"a" "ab" "bc" "bc" "bc" "c" "c" "c" "d"

pos\_ax pos\_rad mean(esp\_pared)

|   |   |   |          |
|---|---|---|----------|
| 1 | A | 1 | 2.247640 |
| 2 | A | 2 | 2.495384 |
| 3 | A | 3 | 2.688048 |
| 4 | B | 1 | 2.281552 |
| 5 | B | 2 | 2.251072 |
| 6 | B | 3 | 2.454496 |
| 7 | C | 1 | 2.029892 |

|   |   |   |          |
|---|---|---|----------|
| 8 | C | 2 | 2.263784 |
| 9 | C | 3 | 2.406864 |

#### **ANEXO 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO - PROPIEDADES FÍSICAS**

##### ***DENSIDAD BÁSICA***

Normalidad: p-value = 0.001105

Homocedasticidad: p = 0.21872

Anova:

|           | Df  | Sum Sq | Mean Sq  | F value | Pr(>F) |
|-----------|-----|--------|----------|---------|--------|
| pos       | 2   | 0.0338 | 0.016876 | 0.4377  | 0.6464 |
| Residuals | 147 | 5.6678 | 0.038557 |         |        |

No paramétrica:

\$statistics

| Chisq    | Df | p.chisq   | t.value  | MSD      |
|----------|----|-----------|----------|----------|
| 0.789955 | 2  | 0.6736952 | 1.976233 | 17.24217 |

\$parameters

test p.adjusted name.t ntr alpha

|                |      |     |   |      |
|----------------|------|-----|---|------|
| Kruskal-Wallis | none | pos | 3 | 0.05 |
|----------------|------|-----|---|------|

\$comparison

NULL

\$groups

DB groups

B 79.30 a

C 75.62 a

A 71.58 a

##### ***CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA***

Normalidad: p-value = 0.2352

Homocedasticidad:  $p = 0.65341$

Paramétrica:

HSD Test for cvol

Mean Square Error: 1.409351

pos, means

|   | cvol     | std r    | Min | Max               |
|---|----------|----------|-----|-------------------|
| A | 8.031379 | 1.127972 | 50  | 5.677738 11.18851 |
| B | 8.331983 | 1.199971 | 50  | 5.760496 12.08914 |
| C | 8.198271 | 1.231179 | 50  | 5.375883 11.02525 |

Alpha: 0.05 ; DF Error: 147

Critical Value of Studentized Range: 3.348424

Minimum Significant Difference: 0.5621666

Treatments with the same letter are not significantly different.

cvol groups

|   |          |   |
|---|----------|---|
| B | 8.331983 | a |
| C | 8.198271 | a |
| A | 8.031379 | a |

**CONTRACCIÓN TANGENCIAL:**

Normalidad:  $p\text{-value} = 0.0001086$

Homocedasticidad:  $p = 0.56863$

No paramétrica:

\$statistics

| Chisq     | Df | p.chisq   | t.value  | MSD      |
|-----------|----|-----------|----------|----------|
| 0.3386125 | 2  | 0.8442503 | 1.976233 | 17.26839 |

\$parameters

| test           | p.adjusted | name | t | ntr  | alpha |
|----------------|------------|------|---|------|-------|
| Kruskal-Wallis | none       | pos  | 3 | 0.05 |       |

\$means

|   | ctg      | rank  | std       | r  | Min      | Max       | Q25      | Q50      |
|---|----------|-------|-----------|----|----------|-----------|----------|----------|
| A | 5.978493 | 77.59 | 1.2053430 | 50 | 4.263176 | 10.341431 | 5.236970 | 5.891131 |
| B | 5.669263 | 72.69 | 0.8766299 | 50 | 2.585628 | 7.278689  | 5.308308 | 5.911903 |
| C | 5.868638 | 76.22 | 1.0028425 | 50 | 4.037371 | 9.372959  | 5.192623 | 5.851939 |

Q75

A 6.320930

B 6.155638

C 6.286711

\$comparison

NULL

\$groups

ctg groups

A 77.59 a

C 76.22 a

B 72.69 a

### ***CONTRACCIÓN RADIAL***

Normalidad: p-value = 1.214e-07

Homocedasticidad: p = 0.089527

No paramétrica:

\$statistics

| Chisq      | Df | p.chisq   | t.value  | MSD      |
|------------|----|-----------|----------|----------|
| 0.04077351 | 2  | 0.9798196 | 1.976233 | 17.28569 |

\$parameters

test p.adjusted name.t ntr alpha

Kruskal-Wallis none pos 3 0.05

\$means

| crd | rank | std | r | Min | Max | Q25 | Q50 |
|-----|------|-----|---|-----|-----|-----|-----|
|-----|------|-----|---|-----|-----|-----|-----|

A 2.486116 74.86 0.4849875 50 1.3567174 3.364424 2.090252 2.525151  
 B 2.561564 76.50 0.7803890 50 0.6310196 6.227348 2.240484 2.549316  
 C 2.557881 75.14 0.7190950 50 1.5934959 6.146341 2.037970 2.482631

Q75

A 2.879004

B 2.820083

C 2.827083

\$comparison

NULL

\$groups

crd groups

B 76.50 a

C 75.14 a

A 74.86 a

## RELACIÓN T/R

Normalidad: p-value = 0.01306

Homocedasticidad: p = 0.1159

No paramétrica:

\$statistics

Chisq Df p.chisq t.value MSD

0.9706172 2 0.6155072 1.976233 17.23165

\$parameters

test p.adjusted name.t ntr alpha

Kruskal-Wallis none pos 3 0.05

\$means

TR rank std r Min Max Q25 Q50

A 2.468678 79.52 0.5437302 50 1.5557252 3.592941 2.049433 2.446111

B 2.373640 71.00 0.6914521 50 0.8763877 4.895762 2.020759 2.296521

C 2.386089 75.98 0.4910759 50 1.2338586 3.447420 2.047175 2.388895

Q75

A 2.769690

B 2.640043

C 2.703135

\$comparison

NULL

\$groups

TR groups

A 79.52 a

C 75.98 a

B 71.00 a

## ANEXO 5. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

### A. ESPESOR DE PARED – DENSIDAD BÁSICA

Modelo lineal: (formula = D.B. ~ esp.pared)

Residuals:

| Min        | 1Q         | Median     | 3Q        | Max       |
|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| -0.0185869 | -0.0070811 | -0.0009595 | 0.0078621 | 0.0138384 |

Coefficients:

|             | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t )     |
|-------------|----------|------------|---------|--------------|
| (Intercept) | 0.24529  | 0.02978    | 8.237   | 1.75e-05 *** |
| esp.pared   | 0.04083  | 0.01230    | 3.321   | 0.00893 **   |

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.01085 on 9 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5506, Adjusted R-squared: 0.5007

F-statistic: 11.03 on 1 and 9 DF, p-value: 0.008931

### **LONG. FIBRA – CONTRACCIÓN RADIAL**

Modelo lineal : (formula = CR ~ long.fib)

Residuals:

| Min      | 1Q       | Median   | 3Q      | Max     |
|----------|----------|----------|---------|---------|
| -0.34546 | -0.21218 | -0.03403 | 0.18065 | 0.44488 |

Coefficients:

|             | Estimate  | Std. Error | t value | Pr(> t ) |
|-------------|-----------|------------|---------|----------|
| (Intercept) | 9.920908  | 3.083512   | 3.217   | 0.0105 * |
| long.fib    | -0.005593 | 0.002387   | -2.343  | 0.0438 * |

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2697 on 9 degrees of freedom

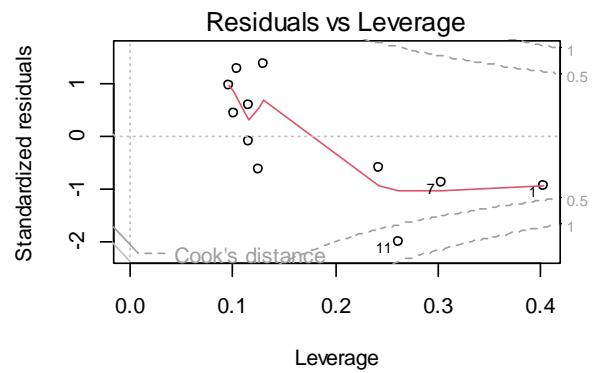
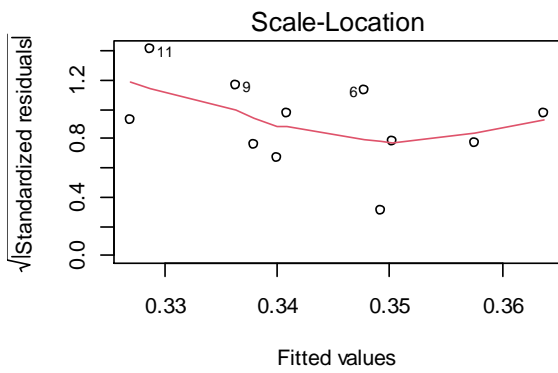
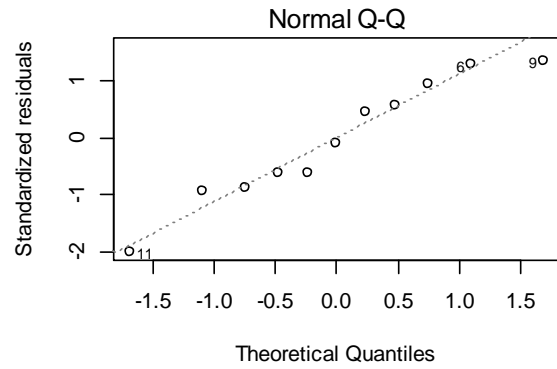
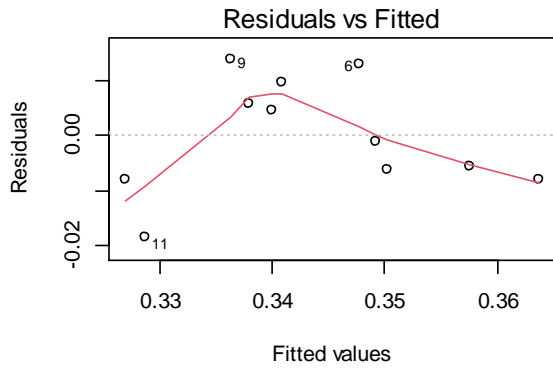
Multiple R-squared: 0.3789, Adjusted R-squared: 0.3099

F-statistic: 5.491 on 1 and 9 DF, p-value: 0.04378



## ANEXO 6. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

### A. ESPESOR DE PARED – DENSIDAD BÁSICA



## B. LONGITUD DE FIBRAS – CONTRACCIÓN RADIAL

